

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ  
Кафедра електропостачання ім. проф. В.М. Синькова

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**ЩОДО ВИКОНАННЯ  
ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ  
"ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ"**

спеціальність – 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

УДК 621.311.4

Навчальне видання містить лабораторні роботи та потрібні для їх виконання теоретичні відомості, які необхідні для засвоєння студентами комплексу питань, щодо основ проектування схем з силовими електричними установками з використанням програмних комплексів та обґрунтування методики їх розрахунку.

Рекомендовано вченою радою ННІ енергетики, автоматики і енергозбереження Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол № 4 від 20.08.2020 р.).

Укладачі: Петренко А. В., кандидат технічних наук, доцент  
Мартинюк Л. В., старший викладач

Рецензенти: Гай О. В., кандидат технічних наук, доцент кафедри електропостачання ім. проф. В. М. Синькова НУБіП України

Сорокін Д. С., кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електротехніки, електромеханіки та електротехнологій НУБіП України

Навчальне видання

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

### ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ "ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ"

спеціальність – 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

Укладачі: ПЕТРЕНКО Андрій Володимирович  
МАРТИНЮК Лілія Володимирівна

Підписано до друку 05.10.2020 р. Зам. № 1018.  
Формат 60x84 1/16. Папір офсетний. Друк – цифровий.  
Наклад 50 прим. Ум. друк. арк. 6,9.  
Друк ЦП «КОМПРИНТ». Свідоцтво ДК №4131 від 04.08.2011 р.  
м. Київ, вул. Предславинська, 28  
095-941-84-99, 067-209-54-30  
email: komprint@ukr.net

## ЗМІСТ

Передмова	6
1 Лабораторна робота 1. Розрахунок та вибір перерізу проводів і жил кабелів електричної мережі напругою 0,38 кВ (використання програмного комплексу)	7
1.1 Мета та завдання	7
1.2 Порядок розрахунку та вибору перерізу проводів і жил кабелів електричної мережі напругою 0,38 кВ з використанням програмного комплексу	7
1.3 Порядок розрахунку та вибору перерізу проводів і жил кабелів електричної мережі напругою 0,38 кВ	14
1.4 Приклад оформлення результатів	23
2 Розрахунок та вибір низьковольтної пускозахисної апаратури електричної мережі напругою 0,38 кВ (використання програмного комплексу)	25
2.1 Мета та завдання	25
2.2 Порядок розрахунку та вибору низьковольтної пускозахисної апаратури електричної мережі напругою 0,38 кВ	25
2.3 Порядок розрахунку та вибору низьковольтної пускозахисної апаратури електричної мережі напругою 0,38 кВ з використанням програмного комплексу	27
2.4 Приклад оформлення результатів	38
3 Проектування розподільних електричних щитів напругою 0,38 кВ (використання програмного комплексу)	40
3.1 Мета та завдання	40

3.2	Порядок розрахунку та вибору автоматичних вимикачів для захисту ліній з використанням програмного комплексу	40
3.3	Порядок розрахунку та вибору автоматичного вимикача вводу з використанням програмного комплексу	44
3.4	Порядок розробки компоновки розподільного електричного щита з використанням програмного комплексу	48
3.5	Приклад оформлення результатів	54
4	Проектування трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ (використання програмного комплексу)	58
4.1	Мета та завдання	58
4.2	Скласти однолінійну електричну схему трансформаторної підстанції	58
4.3	Порядок розрахунку потужності силового(их) трансформатора(ів) в залежності від категорії надійності електропостачання та навантаження споживачів з використанням програмного комплексу та вибір марки із каталогу.	60
4.4	Приклад оформлення результатів	66
5	Розрахунок та вибір потужності конденсаторних установок для трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ (використання програмного комплексу)	70
5.1	Мета та завдання	70
5.2	Короткі теоретичні відомості	71
5.3	Порядок розрахунку максимальної реактивної потужності, яку доцільно передавати через	

трансформатор 10/0,4 кВ номінальною напругою до 1 кВ	71
5.4 Порядок розрахунку реактивної потужності та вибір конденсаторної установки, яка забезпечить необхідне значення коефіцієнта потужності ( $\cos \varphi$ )	74
5.5 Порядок розрахунку максимальної реактивної потужності, яку доцільно передавати через двотрансформаторну підстанцію 10/0,4 кВ номінальною напругою до 1 кВ	77
5.6 Приклад оформлення результатів	82
6 Проектування дизельної електростанції, системи гарантованого електроживлення (використання програмного комплексу)	85
6.1 Мета та завдання	85
6.2 Короткі теоретичні відомості	85
6.3 Порядок розрахунку потужності системи гарантованого електроживлення з використанням програмного комплексу та вибору марки системи гарантованого електроживлення у каталозі.	86
6.4 Порядок розрахунку потужності дизельної електростанції з використанням програмного комплексу та вибору марки дизельної електростанції у каталозі.	91
6.5 Приклад оформлення результатів	97
Список використаних джерел	101

## ПЕРЕДМОВА

Дисципліна "Основи проектування енергетичних об'єктів" є важливою профільною дисципліною в розрізі освітньо-професійної програми "Бакалавр" за спеціальністю – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Основна мета дисципліни полягає в формуванні у майбутніх фахівців сталих знань та вмінь з проектування енергетичних систем та електричних мереж, розробки проектної документації для мережевих об'єктів електроенергетики та електричних станцій, вивчення та розрахунків параметрів схем електропостачання споживачів, вивчення методик розрахунку для проектування енергетичних об'єктів, вивчення державної нормативної бази необхідної для виконання та погодження проектної документації.

Дисципліною передбачено проведення лекційних занять, лабораторних і самостійних робіт та курсового проекту. Контроль знань відбувається шляхом виконання модульних контрольних робіт та проведення екзаменаційного тестування.

У методичних вказівках описаний порядок виконання 6 лабораторних робіт, що виконується з використанням програмних комплексів компанії Schneider Electric: 1. EcoStruxure Power Design – Ecodial; 2. EcoStruxure Power Build – Rapsody. По завершенню виконання лабораторних робіт студент зможе проектувати схеми з силовими електричними установками з урахуванням вимог державних стандартів та державних будівельних норм України.

Загальні вимоги та порядок захисту лабораторних робіт:

- кожна лабораторна робота містить мету та завдання, теоретичні відомості з порядком виконання, приклад оформлення результатів роботи на бланку, що дозволяє виконати роботи в логічній послідовності та в разі незадоволення отриманою оцінкою підготуватися до захисту розповівши процес виконання роботи згідно завдання або досягнення мети.

- оформлювати лабораторні роботи потрібно в заведеному для лабораторних робіт зошиті об'ємом 24 аркуші, або аркушах А4, що зшиті у заведеній папці для лабораторних робіт;

- в лабораторії при роботі за комп'ютерами дотримуватись "Правил безпечної експлуатації електроустановок електроспоживачів", "Правил пожежної безпеки" та інструкції з охорони праці;

- захист виконаної лабораторної роботи проводиться до написання наступної лабораторної роботи.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

### Розрахунок та вибір перерізу проводів і жил кабелів електричної мережі напругою 0,38 кВ (використання програмного комплексу)

#### 1.1. Мета та завдання.

**Мета:** навчитися розраховувати, вибирати переріз проводів і жил кабелів та отримати практичний досвід роботи з різними методиками розрахунків, а також особливостями роботи з каталогами обладнання.

#### Завдання:

1. Виконати розрахунок та вибір перерізів проводів і жил кабелів для електричної мережі на комп'ютері з використанням програмного комплексу. Оформити результати процесу виконаного розрахунку.

2. Виконати розрахунок алгебраїчним методом та вибрати перерізи проводів і жил кабелів з каталогу для електричної мережі. Оформити результати процесу виконаного розрахунку.

3. Оформити результати виконаної роботи відповідно свого варіанту для перевірки.

#### 1.2. Порядок розрахунку та вибору перерізу проводів і жил кабелів електричної мережі напругою 0,38 кВ з використанням програмного комплексу

Випишуємо завдання згідно свого варіанту (рис. 1.1, табл. 1.1). На рис. 1.1 зображені: РЩ1, РЩ2 – розподільний щит 1 і 2;  $\star$  Р<sub>гр</sub> – трифазна розеточна група;  $\text{M1}$  – трифазний електричний двигун;  $\square\square\square$  – трифазний електричний обігрівач [1].

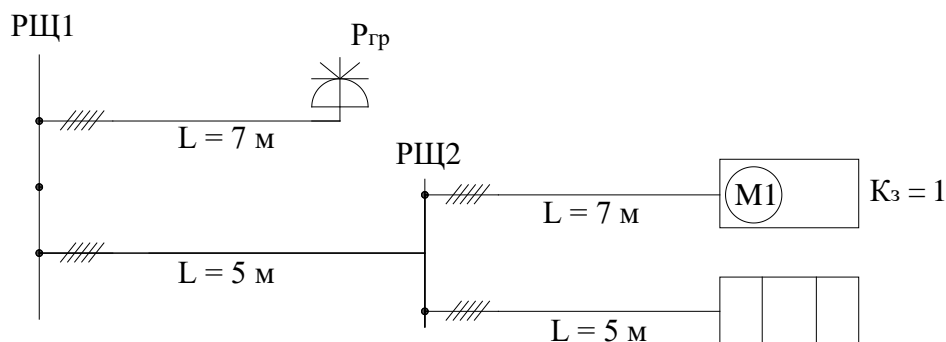


Рис. 1.1. Спрощена однолінійна схема трифазної електричної мережі напругою 380 В виробничого приміщення.

## Випишемо дані згідно свого варіанту

Номер (марка) електродвигуна, навантаження	$P_n$ , кВт	$K_i$	$\eta$ , %	$\cos \varphi$	L, м
Ргр (розеточна група)	1,5	-	-	0,85	7
M1 (AIS90S4)	1,1	4,5	75,0	0,71	7
Електрообігрівач	2,0	-	-	1,0	5
Довжина РЩ1-РЩ2	-	-	-	-	5

У першій частині лабораторної роботи виконаємо розрахунок та вибір перерізів проводів і жил кабелів для електричної мережі на комп'ютерні з використанням програмного комплексу за методикою наведеною нижче. Для розрахунку використаємо програму **Ecodial** [2].

Спочатку побудуємо схему підключення розподільних щитів РЩ1, РЩ2 та навантаження. Для цього у програмі Ecodial виберемо джерело живлення трансформаторну підстанцію ТП 10/0,38 кВ, як це зображено на рис. 1.2.

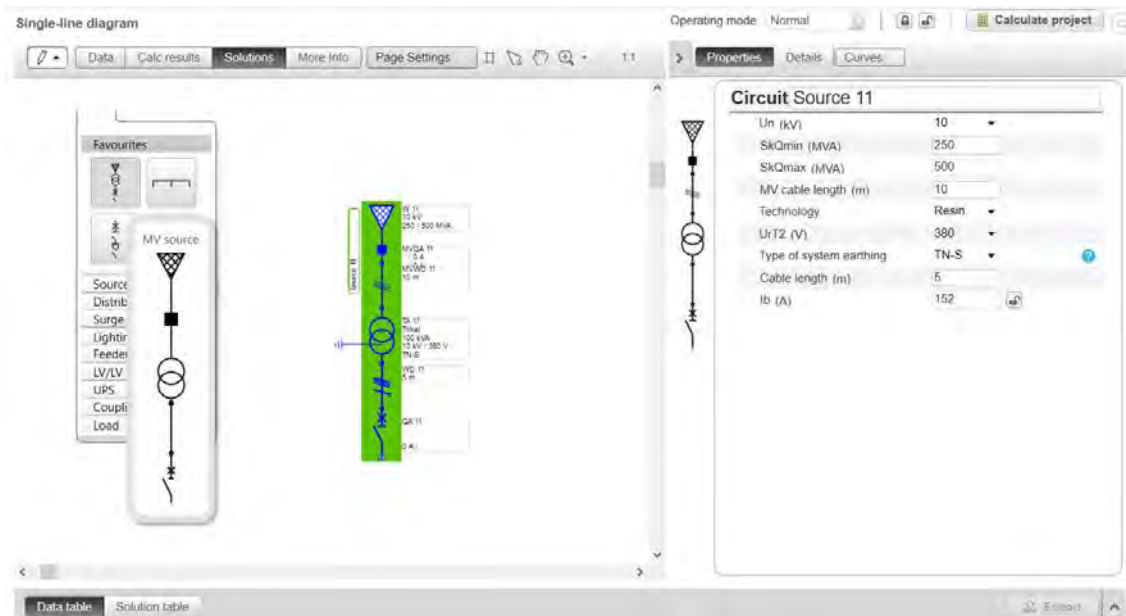


Рис. 1.2. Зображення процесу вибору трансформаторної підстанції ТП 10/0,38 кВ

Встановлюємо шину для розподільного щита трансформаторної підстанції ТП 10/0,38 кВ, як це зображено на рис. 1.3. Плануємо, що даний розподільний щит матиме назву РЩ1.

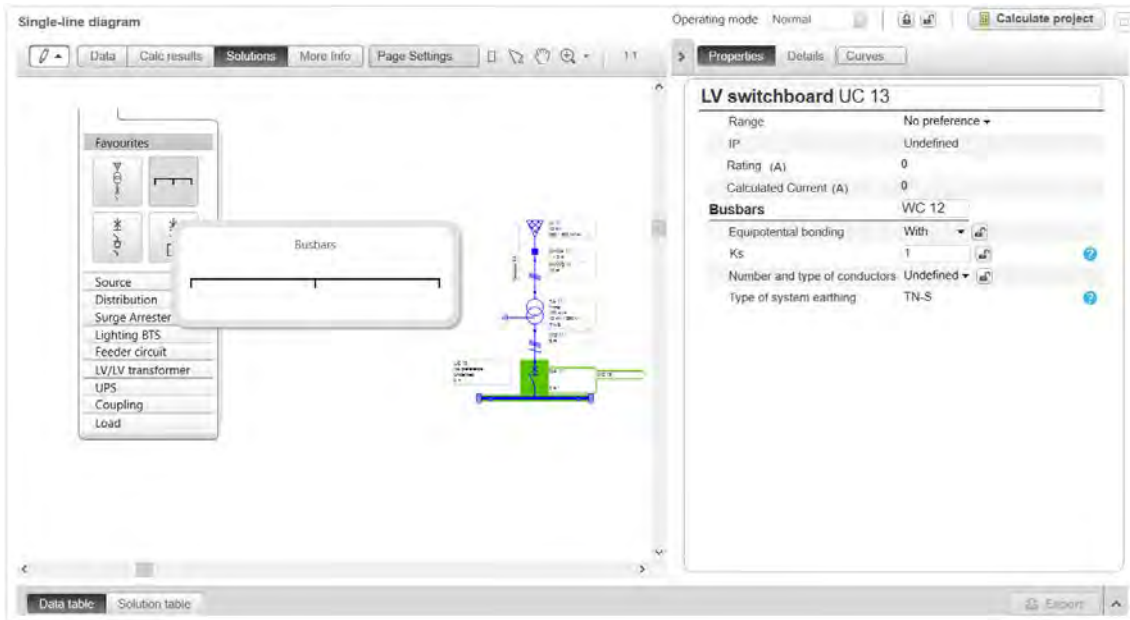


Рис. 1.3. Зображення процесу вибору шини для розподільного щита трансформаторної підстанції ТП 10/0,38 кВ

Встановлюємо лінію фідера із захисним обладнанням (запобіжник), як це зображено на рис. 1.4.

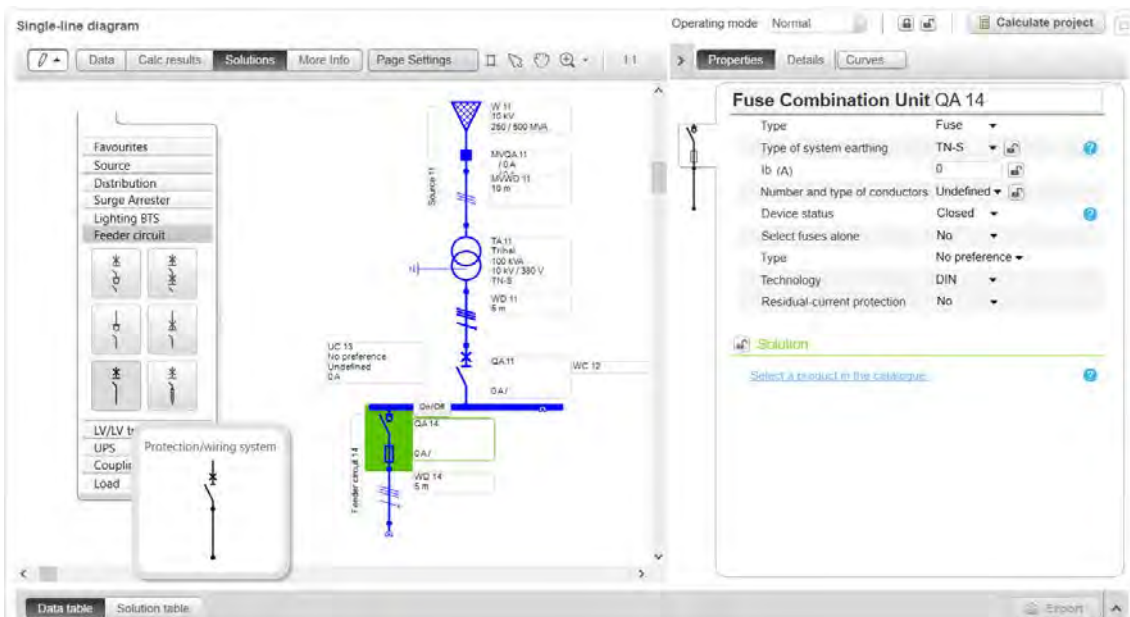


Рис. 1.4. Зображення процесу підключення лінії фідера до шини розподільного щита ТП 10/0,38 кВ

Після встановлення лінії фідера, підключаємо шину розподільного щита РЩ2. До розподільного щита РЩ1 підключаємо розеточну групу, та задаємо згідно вихідних даних її параметри. Після введення даних (потужності навантаження розеточної групи,  $\cos \phi$ , довжини) у відповідні клітинки зображені у вікні Properties колір лінії із синього зміниться на чорний. Це свідчить, що дані навантаження у лінію введені. Цей процес зображено на рис. 1.5.

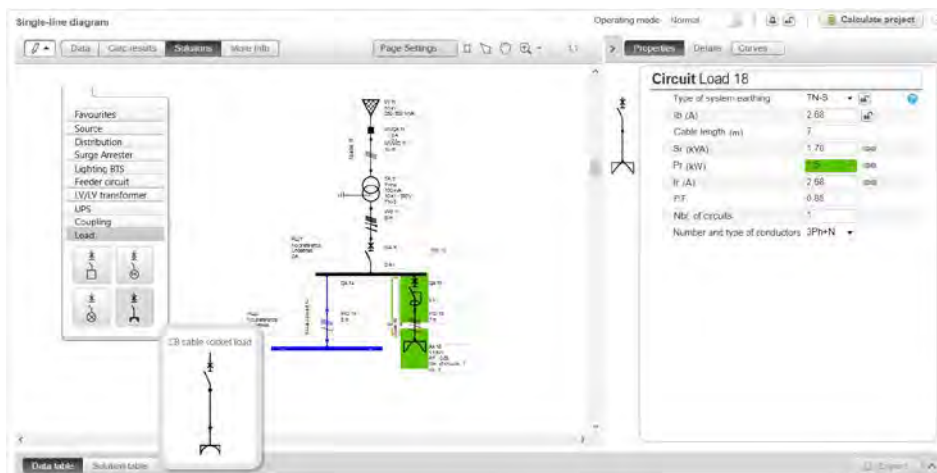


Рис. 1.5. Зображення процесу підключення розеточної групи до розподільного щита РЩ1.

Далі згідно виконаних попередніх дій підключаємо до розподільного щита РЩ2 навантаження електричного двигуна та електрообігрівача (рис. 1.6). Після підключення задаємо параметри електрообігрівача (рис. 1.7) та електродвигуна, як це зображено на рис. 1.8.

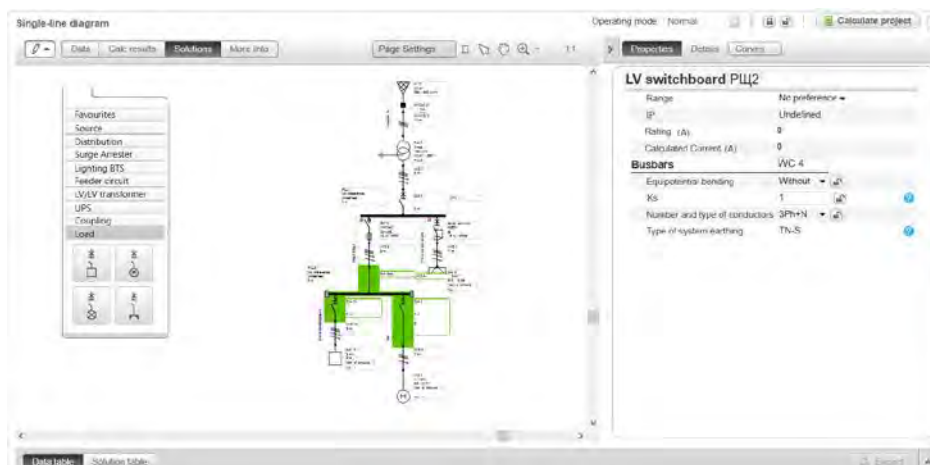


Рис. 1.6. Зображення процесу підключення електричного двигуна та електрообігрівача до розподільного щита РЩ2.

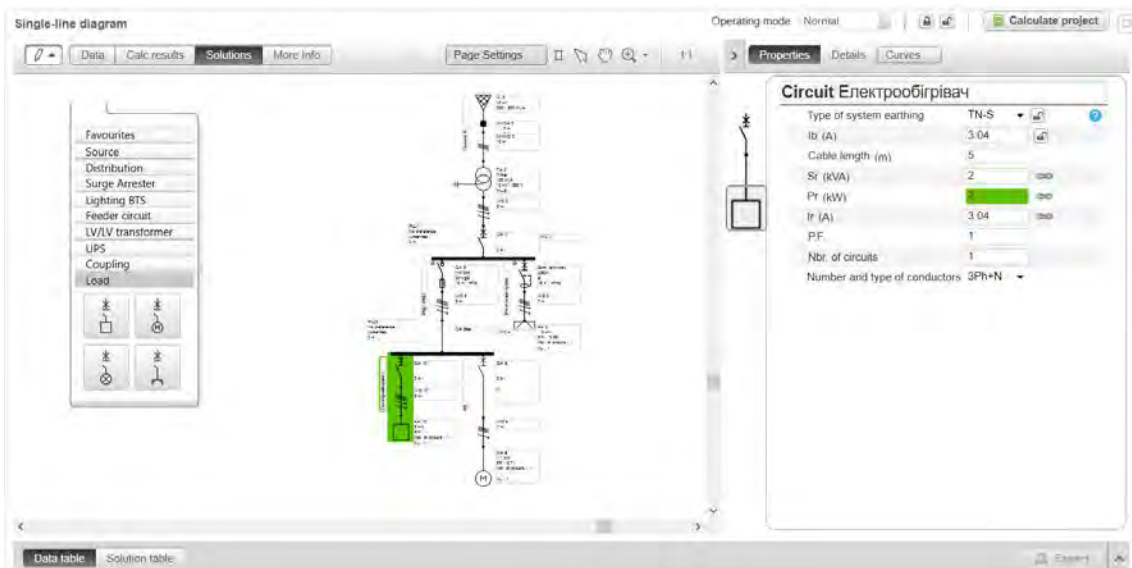


Рис. 1.7. Зображення процесу задання параметрів електрообігрівача.

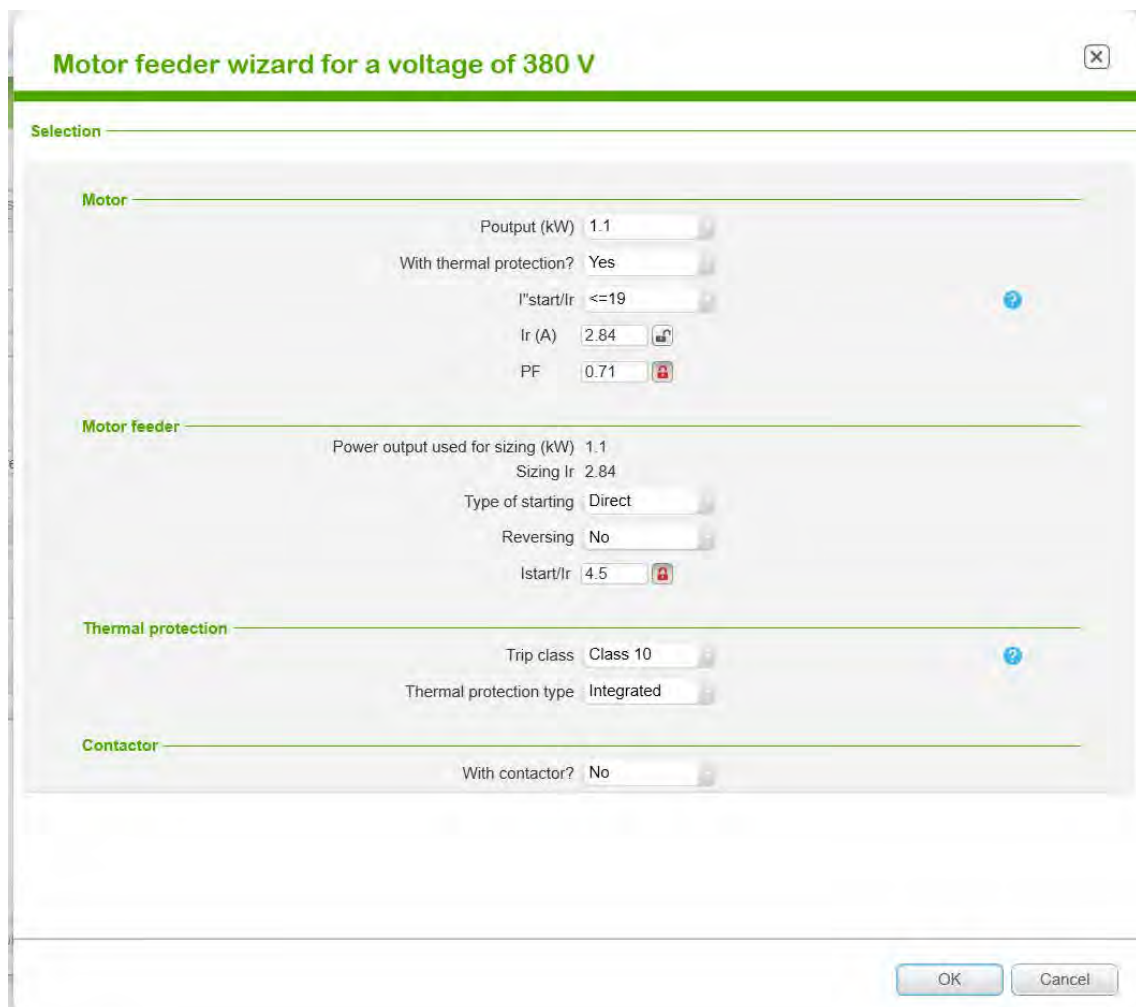


Рис. 1.8. Зображення вікна для введення параметрів електродвигуна.

Коли введені всі параметри відповідно до Вашого варіанту, потрібно натиснути кнопку на дисплеї «Calculate project», тоді схема набуде вигляду, як це зображено на рис. 1.9.

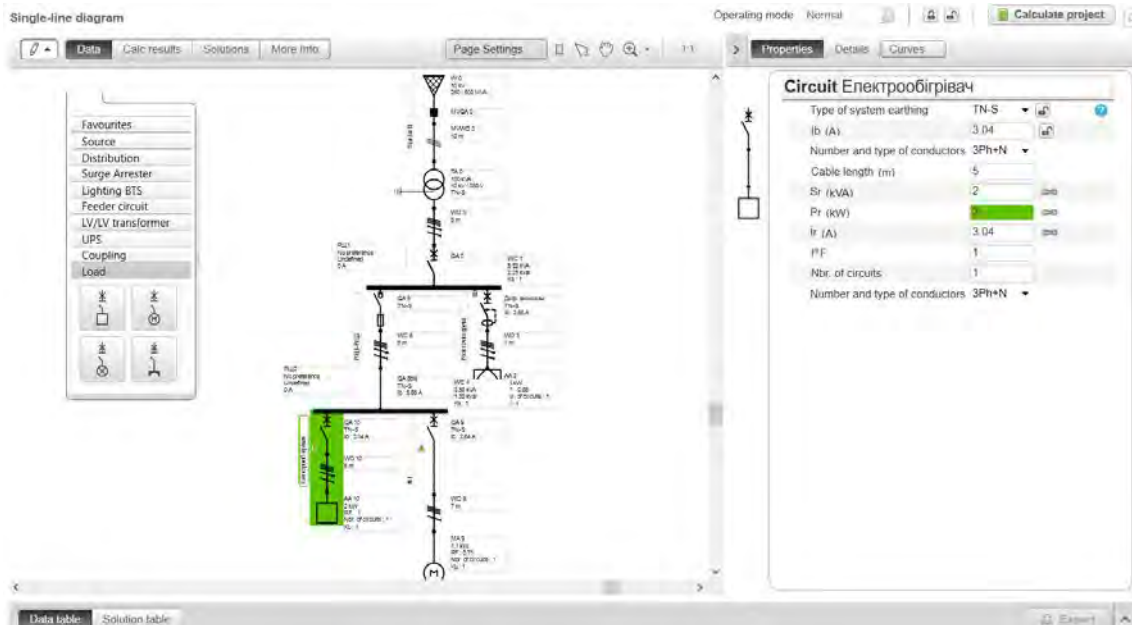


Рис. 1.9. Розрахункова схема розподільних щитів РЩ1 і РЩ2.

Виконаємо аналіз вибраного перерізу проводу в результаті комп'ютерного розрахунку у програмі Ecodial. Для цього потрібно у вікні «Single-line diagram» активувати закладку «Solutions», в результаті отримаємо підписи вибраного перерізу проводу на кожній ділянці схеми. Запишемо дані перерізу жил проводів до схеми (рис. 1.10).

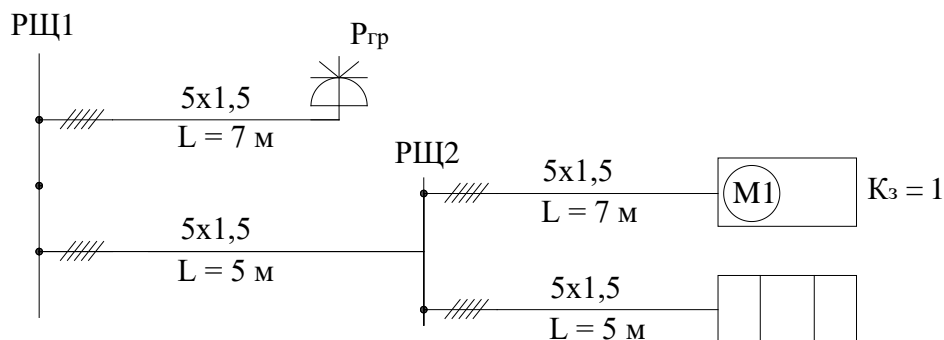


Рис. 1.10. Спрощена однолінійна схема електричної мережі напругою 380 В виробничого приміщення з нанесенням розрахункових даних перерізу жил проводів.

Після вибору перерізу жил проводів потрібно у вікні «Single-line diagram» активувати закладку «Calc results», в результаті отримаємо підписи фактичної втрати напруги  $\Delta U\%$  у проводі на кожній ділянці схеми (рис. 1.11).

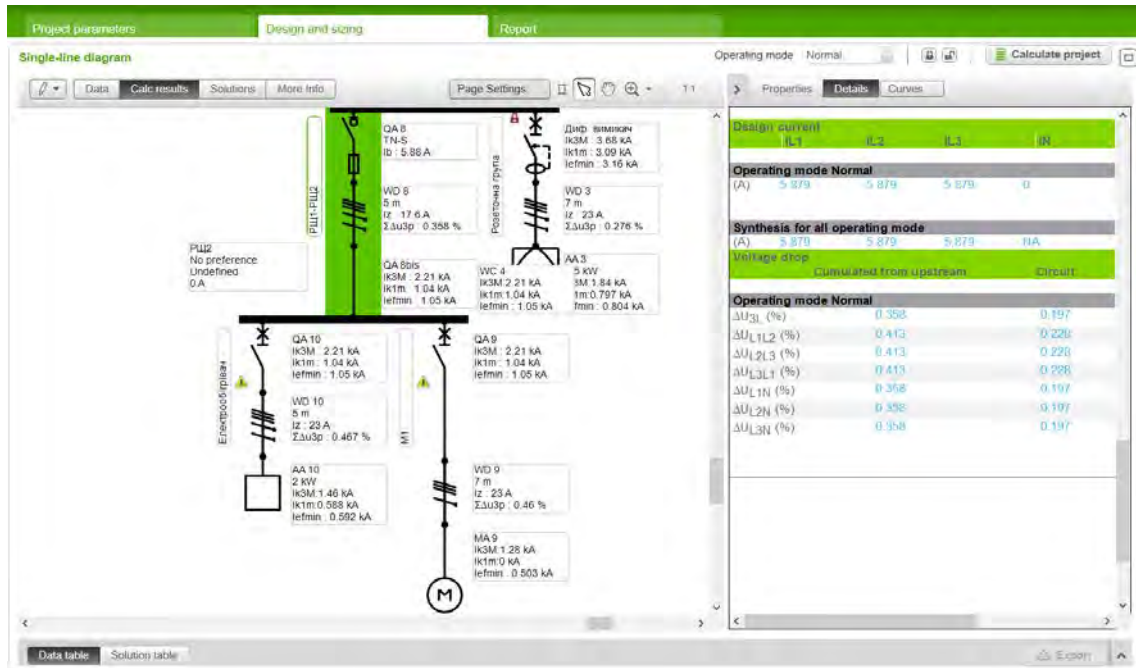


Рис. 1.11. Зображення схеми ділянок мережі розподільних щитів РЩ1 і РЩ2 із результатами фактичної втрати напруги  $\Delta U\%$ .

З аналізу схеми на рис. 1.11, отримуємо сумарну втрату напруги від РЩ1 до кінцевих споживачів на всіх ділянках мережі. Запишемо результати комп'ютерного розрахунку на схемі (рис. 1.12).

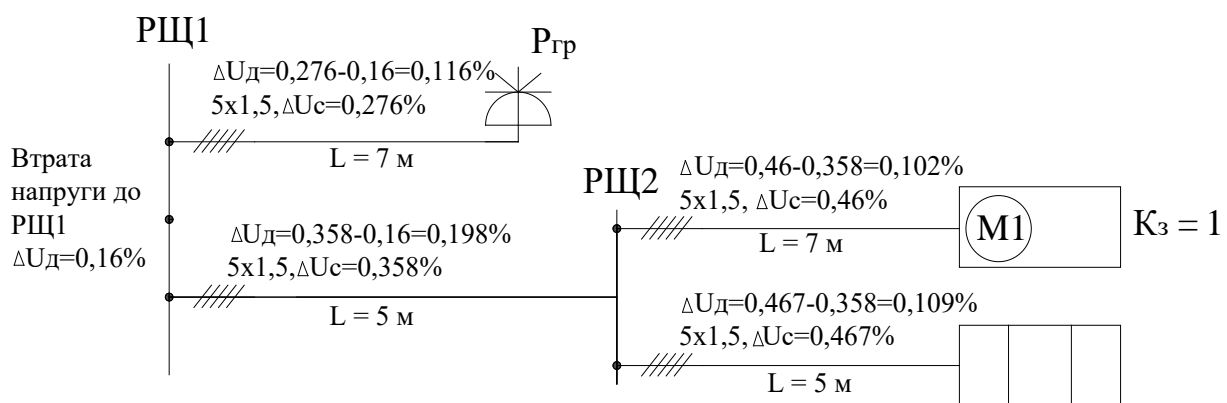


Рис. 1.12. Спрощена однолінійна схема електричної мережі напругою 380 В виробничого приміщення з нанесенням розрахункових даних втрати напруги у проводах.

Проаналізувавши схему рис. 1.12, отримуємо два показника втрати напруги на кожній ділянці. Так, для прикладу на ділянці РЩ1-РЩ2, маємо фактичну сумарну втрату напруги  $\Delta U_c = 0,358 \%$ , що складається із втрати напруги від ТП до РЩ1 та втрати напруги від РЩ1 до РЩ2. Окрім того, якщо від  $\Delta U_c = 0,358 \%$  відняти втрату напруги до розподільного щита РЩ1  $\Delta U_d = 0,16 \%$ , отримаємо втрату напруги лінії «РЩ1-РЩ2», а саме  $\Delta U_d = 0,358 - 0,16 = 0,198 \%$ . Аналогічно проводиться аналіз на кожній ділянці.

### 1.3. Порядок розрахунку та вибору перерізу проводів і жил кабелів електричної мережі напругою 0,38 кВ

У другій частині лабораторної роботи проведемо вибір перерізу жил проводу методом допустимої втрати напруги шляхом розрахунку згідно формул.

Для цього до існуючих вихідних даних по лініях задаємося допустимою втратою напруги у мережі  $\Delta U_{\text{доп}} = 5 \%$  [3]. Дані допустимої втрати напруги в електромережі у програмі Ecodial задавались автоматично і становили 4%, проте їх можна коригувати вручну у вкладці «Project parameters» та «Properties».

*Виконаємо розрахунок ділянки «РЩ1 – розеточна група».*

Вихідні дані ділянки:  $P_{\text{гр}}=1,5$  кВт,  $U_{\text{н}}=380$  В,  $\cos \varphi = 0,85$ ,  $L=7$  м.

Знаходимо повну та реактивну потужність навантаження:

$$S_{\text{гр}} = \frac{P_{\text{гр}}}{\cos \varphi} = \frac{1,5}{0,85} = 1,765 \text{ кВА}$$

$$Q_{\text{гр}} = \sqrt{S_{\text{гр}}^2 - P_{\text{гр}}^2} = \sqrt{1,765^2 - 1,5^2} = 0,93 \text{ квар}$$

Враховуючи, що реактивний опір проводу  $x_0 \approx 0,08$  Ом/км, знаходимо реактивну складову допустимої втрати напруги:

$$\Delta U_p = \frac{x_0}{U_{\text{н}}} (Q \cdot L) = \frac{0,08}{0,38} (0,93 \cdot 0,007) = 0,001 \text{ В}$$

Визначаємо активну втрату напруги:

$$\Delta U_a = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_p = \frac{5}{100} \cdot 380 - 0,001 \approx 19 \text{ В}$$

Визначаємо необхідний переріз проводу для ділянки:

$$F = \frac{\rho}{\Delta U_a \cdot U_H} (P \cdot L) = \frac{23,7}{19 \cdot 0,38} (1,5 \cdot 0,007) = 0,034 \text{ мм}^2,$$

У програмі Ecodial використовуються такі значення параметру  $\rho$  відповідно до стандарту МЭК 60909-0 і Cenelec TR 50480:

- для мідних проводів  $\rho = 23,7 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{км}$ ;
- для алюмінієвих проводів  $\rho = 37,6 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{км}$ .

Отже, використовуючи каталог проводів марки YnKY [4] приймаємо провід YnKY – 5x1,5 RE, що відповідає перерізу проводу вибраного у результаті комп'ютерного розрахунку. У зв'язку з тим, що вибраний переріз проводу 1,5 мм<sup>2</sup> більший за розрахунковий 0,034 мм<sup>2</sup>, то перевірку на допустиму втрату напруги можна не робити.

Проте у навчальних цілях для порівняння результатів виконуємо таку перевірку за умовою:

$$\Delta U_{\text{доп}} \geq \Delta U_{\text{факт}}$$

Для цього визначаємо фактичну втрату напруги на ділянці за формулою:

$$\Delta U_{\text{факт}} = \frac{P_{\text{гр}} \cdot r_0 \cdot L + Q_{\text{гр}} \cdot x_0 \cdot L}{U_H} = \frac{1,5 \cdot 12,1 \cdot 0,007 + 0,93 \cdot 0,08 \cdot 0,007}{0,38} = 0,336 \text{ В},$$

$r_0$  – активний опір жил проводу згідно каталогу,  $r_0 = 12,1 \text{ Ом}/\text{км}$ .

Визначаємо фактичну величину втрати напруги у відсотках на ділянці за формулою:

$$\Delta U_{\text{факт}\%} = \frac{\Delta U_{\text{факт}} \cdot 100}{U_H} = \frac{0,336 \cdot 100}{380} = 0,088\%.$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = 5\% \geq \Delta U_{\text{факт}} = 0,088\%.$$

Отже, умова виконується, а це означає, що переріз проводу вибрано вірно.

Наступною виконаємо перевірку за нагрівом струмами навантаження та тривалодопустимим струмом проводу за умовою:

$$I_{\text{тр. доп.}} \geq I_{\text{нав.}}$$

Для цього визначаємо струм навантаження за формулою:

$$I_{\text{нав}} = \frac{P_{\text{гр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi} = \frac{1,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 2,68 \text{ А}$$

Визначаємо із каталогу тривалодопустимий струм для проводу марки YnKY – 5x1,5 RE, що складає  $I_{\text{тр. доп.}} = 19 \text{ А}$ .

Підставляємо отримані значення в умову перевірки струмів:

$$I_{\text{тр. доп.}} = 19 \text{ А} \geq I_{\text{нав.}} = 2,68 \text{ А}$$

Так як умова нагріву струмами навантаження виконується, це означає що перерізи вибрано вірно.

На цьому розрахунок ділянки «РЩ1 – розеточна група» завершено, а розрахункові дані можна нанести на схему рис. 1.13 для порівняння із комп'ютерним розрахунком.

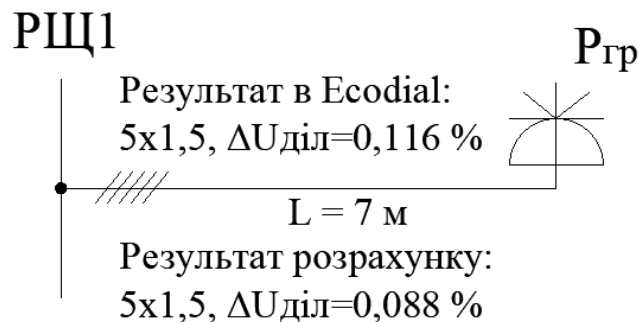


Рис. 1.13. Спрощена однолінійна схема ділянки електричної мережі «РЩ1 – розеточна група» з нанесенням розрахункових даних втрати напруги у проводах отриманих двома методами.

Наявність розбіжності між втратою напруги ділянки  $\Delta U_{\text{діл}} = 0,116\%$  отриманою внаслідок розрахунку у програмі Ecodial і  $\Delta U_{\text{діл}} = 0,088\%$  отриманою внаслідок розрахунку згідно формул пояснюється використанням у рівнянні активного опору жил проводу згідно каталогу,  $r_0 = 12,1 \text{ Ом/км}$ . Якщо використати розрахункове значення активного

опору для перерізу 1,5 мм<sup>2</sup>  $r_0 = \frac{\rho}{F} = \frac{23,7}{1,5} = 15,8$  Ом/км, то отримаємо  $\Delta U_{\text{діл}} = 0,115\%$ , що відрізнятиметься від розрахунку виконаного у програмі Escodial на 0,001%. Таким чином потрібна нам різниця між розрахунковим і каталожним значенням складає  $\Delta U_{\text{діл}} = 0,116 - 0,088 = 0,028\%$ .

*Виконаємо розрахунки для ділянки «РЩ1-РЩ2».*

Вихідні дані для ділянки «РЩ1-РЩ2» в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

**Вихідні дані ділянки «РЩ1-РЩ2»**

Номер (марка) електродвигуна, навантаження	$P_n$ , кВт	$K_i$	$\eta$ , %	$\cos \varphi$	L, м
М1 (AIS90S4)	1,1	4,5	75,0	0,71	7
Електрообігрівач	2,0	-	-	1,0	5
Довжина РЩ1-РЩ2	-	-	-	-	5

Знаходимо повну та реактивну потужність навантаження спочатку для електродвигуна  $S_{M1}$ ,  $Q_{M1}$  та для електрообігрівача  $S_{ел}$ ,  $Q_{ел}$ .

$$S_{M1} = \frac{P_{M1}}{\cos \varphi} = \frac{1,1}{0,71} = 1,55 \text{ кВА}$$

$$Q_{M1} = \sqrt{S_{M1}^2 - P_{M1}^2} = \sqrt{1,765^2 - 1,1^2} = 1,09 \text{ квар}$$

$$S_{ел} = \frac{P_{ел}}{\cos \varphi} = \frac{2}{1} = 2 \text{ кВА}$$

$$Q_{ел} = \sqrt{S_{ел}^2 - P_{ел}^2} = \sqrt{2^2 - 2^2} = 0 \text{ квар}$$

Для ділянки «РЩ1-РЩ2» знайдемо загальні потужності та  $\cos \varphi$ , які протікають через ділянку. При цьому втратами активної та реактивної потужності на ділянках нехтуємо:

$$P_{рщ} = P_{M1} + P_{ел} = 1,1 + 2 = 3,1 \text{ кВт}$$

$$Q_{рщ} = Q_{M1} + Q_{ел} = 1,09 + 0 = 1,09 \text{ квар}$$

$$S_{рщ} = S_{M1} + S_{ел} = 1,55 + 2 = 3,55 \text{ кВА}$$

$$\cos \varphi_{\text{рщ}} = \frac{P_{\text{рщ}}}{S_{\text{рщ}}} = \frac{3,1}{3,55} = 0,873.$$

Враховуючи, що реактивний опір проводу  $x_0 \approx 0,08$  Ом/км, знаходимо реактивну складову допустимої втрати напруги:

$$\Delta U_p = \frac{x_0}{U_H} (Q \cdot L) = \frac{0,08}{0,38} (1,09 \cdot 0,005) = 0,001 \text{ В}$$

Визначаємо активну втрату напруги:

$$\Delta U_a = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_p = \frac{5}{100} \cdot 380 - 0,001 \approx 19 \text{ В}$$

Визначаємо необхідний переріз проводу для ділянки:

$$F = \frac{\rho}{\Delta U_a \cdot U_H} (P \cdot L) = \frac{23,7}{19 \cdot 0,38} (3,1 \cdot 0,005) = 0,051 \text{ мм}^2,$$

Отже, використовуючи каталог проводів марки YпKY приймаємо провід YпKY – 5x1,5 RE, що відповідає перерізу проводу вибраного у результаті комп'ютерного розрахунку. У зв'язку з тим, що вибраний переріз проводу 1,5 мм<sup>2</sup> більший за розрахунковий 0,051 мм<sup>2</sup>, то перевірку на допустиму втрату напруги можна не робити.

Проте у навчальних цілях для порівняння результатів виконуємо таку перевірку за умовою:

$$\Delta U_{\text{доп}} \geq \Delta U_{\text{факт}}$$

Для цього визначаємо фактичну втрату напруги на ділянці за формулою:

$$\Delta U_{\text{факт}} = \frac{P_{\text{гр}} \cdot r_0 \cdot L + Q_{\text{гр}} \cdot x_0 \cdot L}{U_H} = \frac{3,1 \cdot 12,1 \cdot 0,005 + 1,09 \cdot 0,08 \cdot 0,005}{0,38} = 0,495 \text{ В},$$

$r_0$  – активний опір жил проводу згідно каталогу,  $r_0 = 12,1$  Ом/км.

Визначаємо фактичну величину втрати напруги у відсотках на ділянці за формулою:

$$\Delta U_{\text{факт}\%} = \frac{\Delta U_{\text{факт}} \cdot 100}{U_H} = \frac{0,495 \cdot 100}{380} = 0,13\%.$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = 5\% \geq \Delta U_{\text{факт}} = 0,13\%.$$

Отже, умова виконується, а це означає, що переріз проводу вибрано вірно.

Наступною виконаємо перевірку за нагрівом струмами навантаження та тривалодопустимим струмом проводу за умовою:

$$I_{\text{тр. доп.}} \geq I_{\text{нав.}}$$

Для цього визначаємо струм навантаження за формулою:

$$I_{\text{нав}} = \frac{P_{\text{рщ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi} = \frac{3,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,873} = 5,4 \text{ А}$$

Визначаємо із каталогу тривалодопустимий струм для проводу марки YnKY – 5x1,5 RE, що складає  $I_{\text{тр. доп.}} = 19 \text{ А}$ .

Підставляємо отримані значення в умову перевірки струмів:

$$I_{\text{тр. доп.}} = 19 \text{ А} \geq I_{\text{нав.}} = 5,4 \text{ А}$$

Так як умова нагріву струмами навантаження виконується, це означає що перерізи вибрано вірно.

На цьому розрахунок ділянки «РЩ1 – розеточна група» завершено, а розрахункові дані можна нанести на схему рис. 1.14 для порівняння із комп'ютерним розрахунком.

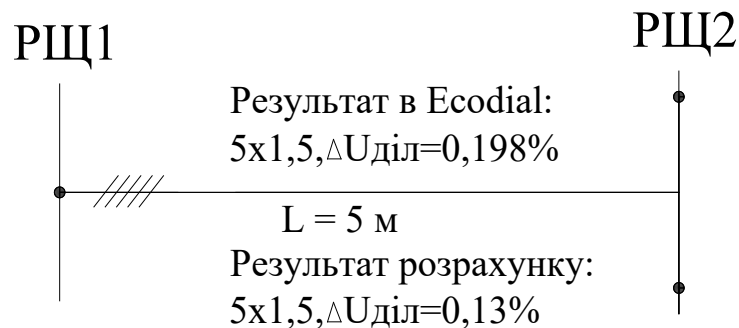


Рис. 1.14. Спрощена однолінійна схема ділянки електричної мережі «РЩ1 – РЩ2» з нанесенням розрахункових даних втрати напруги у проводах отриманих двома методами.

Виконаємо розрахунок ділянки «РЩ2 – М1».

Вихідні дані ділянки:  $P_{\text{м1}} = 1,1 \text{ кВт}$ ,  $U_{\text{н}} = 380 \text{ В}$ ,  $\cos \varphi = 0,71$ ,  $L = 7 \text{ м}$ .

Знаходимо повну та реактивну потужність навантаження:

$$S_{\text{м1}} = \frac{P_{\text{м1}}}{\cos \varphi} = \frac{1,1}{0,71} = 1,55 \text{ кВА}$$

$$Q_{M1} = \sqrt{S_{M1}^2 - P_{M1}^2} = \sqrt{1,765^2 - 1,5^2} = 1,09 \text{ квар}$$

Враховуючи, що реактивний опір проводу  $x_0 \approx 0,08$  Ом/км, знаходимо реактивну складову допустимої втрати напруги:

$$\Delta U_p = \frac{x_0}{U_H} (Q \cdot L) = \frac{0,08}{0,38} (1,09 \cdot 0,007) = 0,002 \text{ В}$$

Визначаємо активну втрату напруги:

$$\Delta U_a = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_p = \frac{5}{100} \cdot 380 - 0,002 \approx 19 \text{ В}$$

Визначаємо необхідний переріз проводу для ділянки:

$$F = \frac{\rho}{\Delta U_a \cdot U_H} (P \cdot L) = \frac{23,7}{19 \cdot 0,38} (1,1 \cdot 0,007) = 0,025 \text{ мм}^2,$$

Отже, використовуючи каталог проводів марки YnKY приймаємо провід YnKY – 5x1,5 RE, що відповідає перерізу проводу вибраного у результаті комп'ютерного розрахунку. У зв'язку з тим, що вибраний переріз проводу 1,5 мм<sup>2</sup> більший за розрахунковий 0,025 мм<sup>2</sup>, то перевірку на допустиму втрату напруги можна не робити.

Проте у навчальних цілях для порівняння результатів виконуємо таку перевірку за умовою:

$$\Delta U_{\text{доп}} \geq \Delta U_{\text{факт}}$$

Для цього визначаємо фактичну втрату напруги на ділянці за формулою:

$$\Delta U_{\text{факт}} = \frac{P_{\text{гр}} \cdot r_0 \cdot L + Q_{\text{гр}} \cdot x_0 \cdot L}{U_H} = \frac{1,1 \cdot 12,1 \cdot 0,007 + 1,09 \cdot 0,08 \cdot 0,007}{0,38} = 0,247 \text{ В},$$

$r_0$  – активний опір жил проводу згідно каталогу,  $r_0 = 12,1$  Ом/км.

Визначаємо фактичну величину втрати напруги у відсотках на ділянці за формулою:

$$\Delta U_{\text{факт}\%} = \frac{\Delta U_{\text{факт}} \cdot 100}{U_H} = \frac{0,247 \cdot 100}{380} = 0,065\%.$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = 5\% \geq \Delta U_{\text{факт}} = 0,065\%.$$

Отже, умова виконується, а це означає, що переріз проводу вибрано вірно.

Наступною виконаємо перевірку за нагрівом струмами навантаження та тривалодопустимим струмом проводу за умовою:

$$I_{\text{тр. доп.}} \geq I_{\text{нав.}}$$

Для цього визначаємо струм навантаження за формулою:

$$I_{\text{нав}} = \frac{P_{M1}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi} = \frac{1,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,71} = 2,35 \text{ А}$$

Визначаємо із каталогу тривалодопустимий струм для проводу марки УпКУ – 5х1,5 РЕ, що складає  $I_{\text{тр. доп.}} = 19 \text{ А}$ .

Підставляємо отримані значення в умову перевірки струмів:

$$I_{\text{тр. доп.}} = 19 \text{ А} \geq I_{\text{нав.}} = 2,35 \text{ А}$$

Так як умова нагріву струмами навантаження виконується, це означає що перерізи жил проводу вибрано вірно.

На цьому розрахунок ділянки «РЩ2 – М1» завершено, а розрахункові дані можна нанести на схему рис. 1.15 для порівняння із комп'ютерним розрахунком.

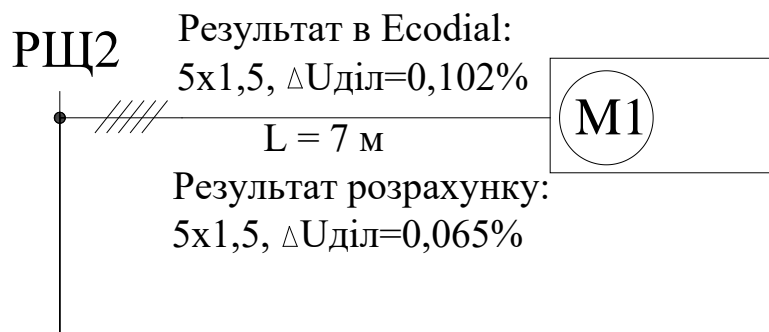


Рис. 1.15. Спрощена однолінійна схема ділянки електричної мережі «РЩ2 – М1» з нанесенням розрахункових даних втрати напруги у проводах отриманих двома методами.

Виконаємо розрахунок ділянки «РЩ2 – Електрообігрівач».

Вихідні дані ділянки:  $P_{\text{ел}} = 2 \text{ кВт}$ ,  $U_{\text{н}} = 380 \text{ В}$ ,  $\cos \varphi = 1,0$ ,  $L = 5 \text{ м}$ .

Знаходимо повну та реактивну потужність навантаження:

$$S_{\text{ел}} = \frac{P_{\text{ел}}}{\cos \varphi} = \frac{2}{1} = 2 \text{ кВА}$$

$$Q_{ел} = \sqrt{S_{ел}^2 - P_{ел}^2} = \sqrt{2^2 - 2^2} = 0 \text{ квар}$$

Враховуючи, що реактивний опір проводу  $x_0 \approx 0,08$  Ом/км, знаходимо реактивну складову допустимої втрати напруги:

$$\Delta U_p = \frac{x_0}{U_H} (Q \cdot L) = \frac{0,08}{0,38} (0 \cdot 0,005) = 0 \text{ В}$$

Визначаємо активну втрату напруги:

$$\Delta U_a = \Delta U_{доп} - \Delta U_p = \frac{5}{100} \cdot 380 - 0 = 19 \text{ В}$$

Визначаємо необхідний переріз проводу для ділянки:

$$F = \frac{\rho}{\Delta U_a \cdot U_H} (P \cdot L) = \frac{23,7}{19 \cdot 0,38} (2 \cdot 0,005) = 0,033 \text{ мм}^2,$$

Отже, використовуючи каталог проводів марки YnKY приймаємо провід YnKY – 5x1,5 RE, що відповідає перерізу проводу вибраного у результаті комп'ютерного розрахунку. У зв'язку з тим, що вибраний переріз проводу 1,5 мм<sup>2</sup> більший за розрахунковий 0,033 мм<sup>2</sup>, то перевірку на допустиму втрату напруги можна не робити.

Проте у навчальних цілях для порівняння результатів виконуємо таку перевірку за умовою:

$$\Delta U_{доп} \geq \Delta U_{факт}$$

Для цього визначаємо фактичну втрату напруги на ділянці за формулою:

$$\Delta U_{факт} = \frac{P_{гр} \cdot r_0 \cdot L + Q_{гр} \cdot x_0 \cdot L}{U_H} = \frac{2 \cdot 12,1 \cdot 0,005 + 0}{0,38} = 0,318 \text{ В},$$

$r_0$  – активний опір жил проводу згідно каталогу,  $r_0 = 12,1$  Ом/км.

Визначаємо фактичну величину втрати напруги у відсотках на ділянці за формулою:

$$\Delta U_{факт\%} = \frac{\Delta U_{факт} \cdot 100}{U_H} = \frac{0,318 \cdot 100}{380} = 0,084\%.$$

$$\Delta U_{доп} = 5\% \geq \Delta U_{факт} = 0,084\%.$$

Отже, умова виконується, а це означає, що переріз проводу вибрано вірно.

Наступною виконаємо перевірку за нагрівом струмами навантаження та тривалодопустимим струмом проводу за умовою:

$$I_{\text{тр. доп.}} \geq I_{\text{нав.}}$$

Для цього визначаємо струм навантаження за формулою:

$$I_{\text{нав}} = \frac{P_{\text{м1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi} = \frac{2}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 1} = 3,04 \text{ А}$$

Визначаємо із каталогу тривалодопустимий струм для проводу марки YnKY – 5x1,5 RE, що складає  $I_{\text{тр. доп.}} = 19 \text{ А}$ .

Підставляємо отримані значення в умову перевірки струмів:

$$I_{\text{тр. доп.}} = 19 \text{ А} \geq I_{\text{нав.}} = 3,04 \text{ А}$$

Так як умова нагріву струмами навантаження виконується, це означає що перерізи жил проводу вибрано вірно.

На цьому розрахунок ділянки «РЩ2 – Електрообігрівач» завершено, а розрахункові дані можна нанести на схему рис. 1.15 для порівняння із комп'ютерним розрахунком.

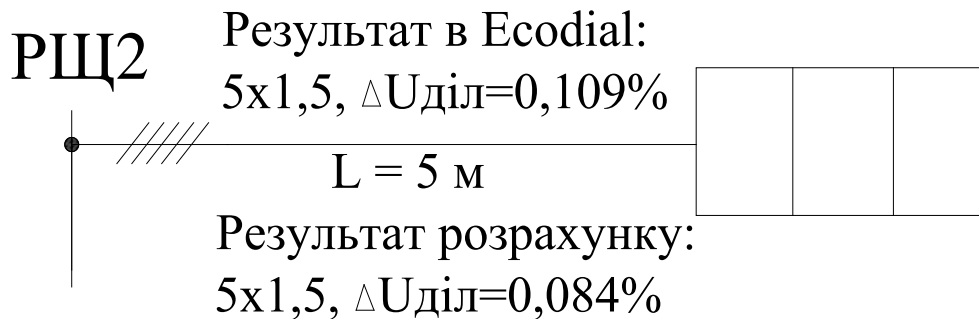


Рис. 1.15. Спрощена однолінійна схема ділянки електричної мережі «РЩ2 – Електрообігрівач» з нанесенням розрахункових даних втрати напруги у проводах отриманих двома методами.

#### 1.4. Приклад оформлення результатів

Отже, всі ділянки розраховані, тепер оформлюємо результати розрахунку на окремому бланку.

## Лабораторна робота № 1

Дисципліна \_\_\_\_\_

Група \_\_\_\_\_

ШБ \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_

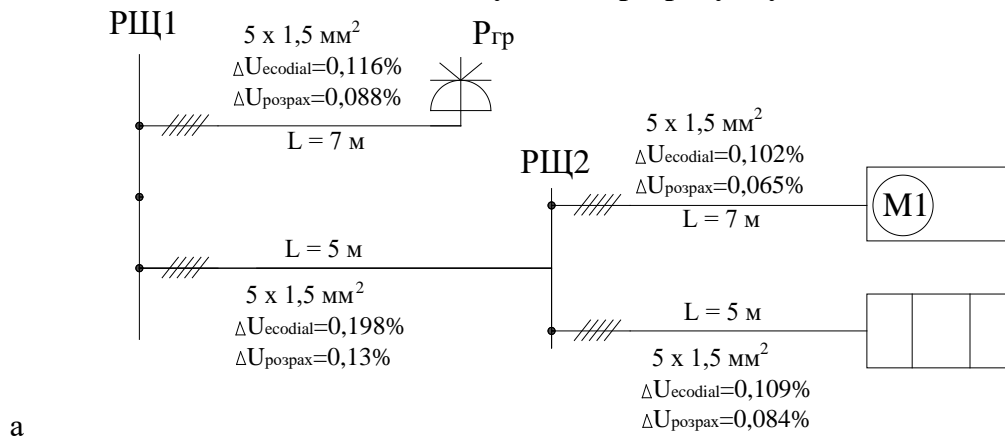
ВАРІАНТ 1

Таблиця 1

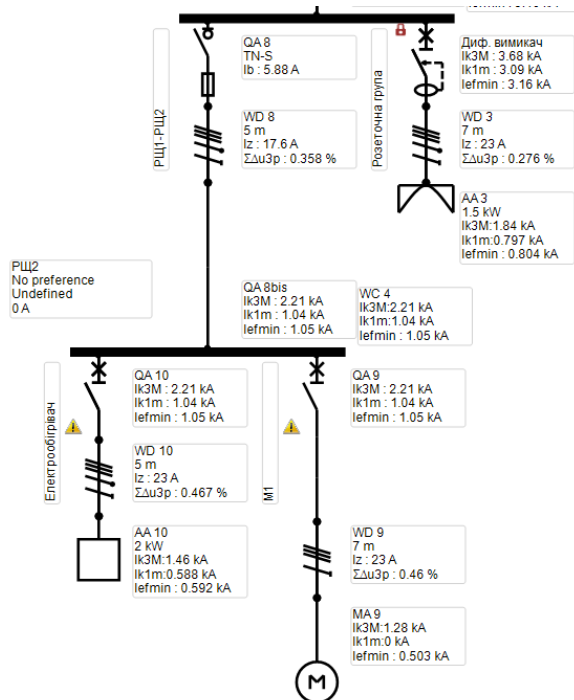
### Вихідні дані

Номер (марка) електродвигуна, навантаження	$P_{ш}$ , кВт	$K_i$	$\eta$ , %	$\cos \varphi$	L, м
Ргр (розеточна група)	1,5	-	-	0,85	7
M1 (AIS90S4)	1,1	4,5	75,0	0,71	7
Електрообігрівач	2,0	-	-	1,0	5
Довжина РЦ1-РЦ2	-	-	-	-	5

### Результати розрахунку



a



б

Рис. 1. Спрощена однолінійна схема електричної мережі напругою 380 В виробничого приміщення з нанесенням розрахункових даних втрати напруги у проводах на ділянках (а) і втрати напруги сумарної по лінії (б).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

### Розрахунок та вибір низьковольтної пускозахисної апаратури електричної мережі напругою 0,38 кВ (використання програмного комплексу)

#### 2.1. Мета та завдання.

**Мета:** навчитися розраховувати, вибирати низьковольтну пускозахисну апаратуру для захисту електричної мережі та отримати практичний досвід роботи з різними методиками розрахунків, а також особливостями роботи з каталогами обладнання.

#### Завдання:

1. Виконати розрахунок та вибрати низьковольтну пускозахисну апаратуру з каталогу для захисту електричної мережі. Оформити результати процесу виконаного розрахунку.

2. Виконати розрахунок і вибір низьковольтної пускозахисної апаратури для захисту електричної мережі з використанням комп'ютера та програмного комплексу. Оформити результати процесу виконаного розрахунку.

3. Оформити результати виконаної роботи відповідно свого варіанту для перевірки.

#### 2.2. Порядок розрахунку та вибору низьковольтної пускозахисної апаратури електричної мережі напругою 0,38 кВ

Випишемо завдання згідно свого варіанту (рис. 2.1, табл. 2.1). З каталогів вибрати автоматичні вимикачі QF2, QF3, запобіжники FU1..3, автоматичний вимикач диференціального струму QF1 (рис. 2.1). Марки проводів для ділянок схеми використати із лабораторної роботи 1.

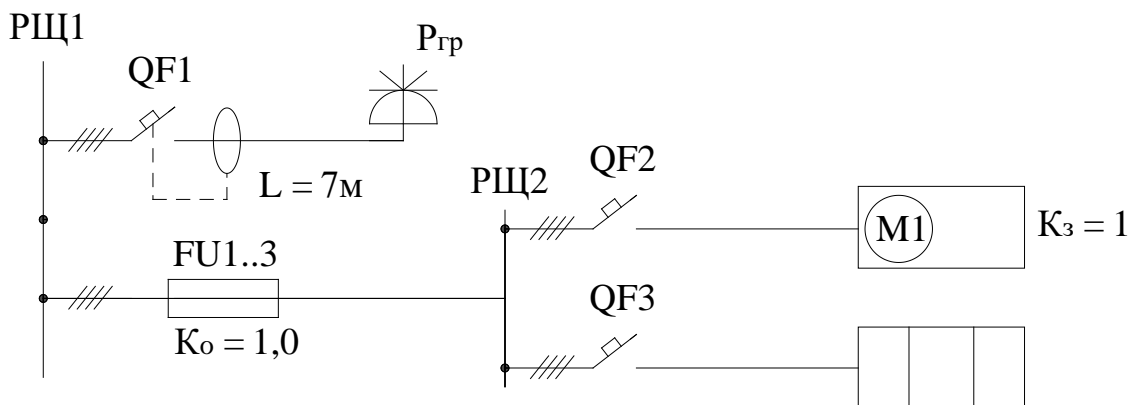


Рис. 2.1. Спрощена схема електричної мережі напругою 380 В

виробничого приміщення (зображені апарати захисту, які необхідно вибрати).

Таблиця 2.1

**Випишемо дані згідно свого варіанту**

Номер (марка) електродвигуна, навантаження	$P_{н}$ , кВт	$K_i$	$\eta$ , %	$\cos \phi$
Ргр (розеточна група)	1,5	-	-	0,85
M1 (AIS90S4)	1,1	4,5	75,0	0,71
Електрообігрівач	2,0	-	-	1,0

У зв'язку з тим, що розрахунок виконується окремо по кожній ділянці, відразу після розрахунку ділянки згідно формул, будемо переходити до перевірки, а саме до розрахунку в програмному комплексі.

Розпочнемо з розрахунку ділянки лінії на схемі (рис. 2.2).

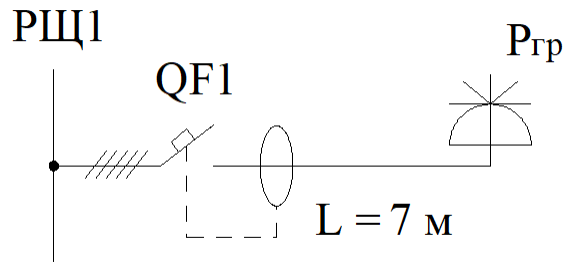


Рис. 2.2. Схема лінії «РЩ 1 – Розеточна група (Ргр)»

Виконуємо розрахунок згідно методики за формулами:

Знаходимо номінальний трифазний струм в лінії за формулою:

$$I_p = \frac{P_{гр}}{\sqrt{3}U_H \cos \phi} = \frac{1,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 2,7 A$$

Знаходимо номінальний струм пристрою захисного вимкнення з каталогу  $I_{н.УЗО} = 16 A$  та диференціальним струмом вимкнення  $\Delta I_{н.УЗО} = 30 mA$  за умовою:

$$I_{н.УЗО} = 16 A \geq I_p = 2,7 A.$$

Виконуємо перевірку пристрою захисного вимкнення за струмом максимального спрацювання (згідно каталогу [5]):

$$I_{\text{максУЗО}} = 63A \geq I_{\text{макс}} = I_p = 2,7A$$

Виконуємо розрахунок пристрою захисного вимкнення за диференціальним струмом вимкнення:

$$\Delta I = \Delta I_{\text{спож}} + \Delta I_{\text{мер}} = 0,4I_p + 0,01L_{\text{пров}} = 0,4 \cdot 2,7 + 0,01 \cdot 7 = 1,15 \text{ мА}$$

Виконуємо перевірку пристрою захисного вимкнення за диференціальним струмом вимкнення:

$$\Delta I_{\text{УЗО}} = 30 \text{ мА} \geq 3\Delta I = 3 \cdot 1,15 = 3,45 \text{ мА}$$

Вибираємо з каталогу 4-полюсний пристрій захисного вимкнення: ABL SURSUM RW4103 з номінальним струмом  $I_{\text{н.УЗО}} = 16A$  та диференціальним струмом вимкнення  $\Delta I_{\text{н.УЗО}} = 30 \text{ мА}$

Вибираємо марку та переріз проводу YnKY з каталогу за умовою:  
 $I_{\text{тр.д}} = 19A > I_p = 2,7A$ , з перерізом жил  $F = 1,5 \text{ мм}^2$

Марка проводу YnKY-5x1,5 RE.

### **2.3. Порядок розрахунку та вибору низьковольтної пускозахисної апаратури електричної мережі напругою 0,38 кВ з використанням програмного комплексу**

*Виконуємо розрахунок в програмі Ecodial:*

Складаємо схему електроживлення розеточної групи та задаємо потужність навантаження ( $P_{\text{гр}} = 1,5 \text{ кВт}$ ) згідно рис. 2.3.

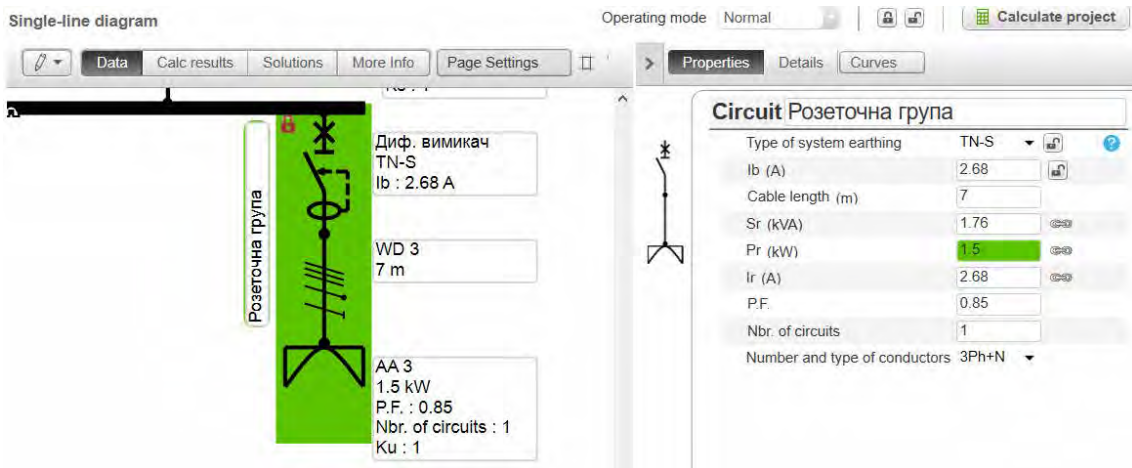


Рис. 2.3. Схема лінії «РІЦ 1 – Розеточна група (P<sub>ГР</sub>)» у програмі *Ecodial*.

Виконуємо розрахунок натискаючи на «Calculate project».

Вибираємо диференціальний автоматичний вимикач, що відповідає вибраному у першій частині розрахунку з параметрами  $I_{н.УЗО} = 16A$ ,  $\Delta I_{н.УЗО} = 30mA$  згідно рис. 2.4.

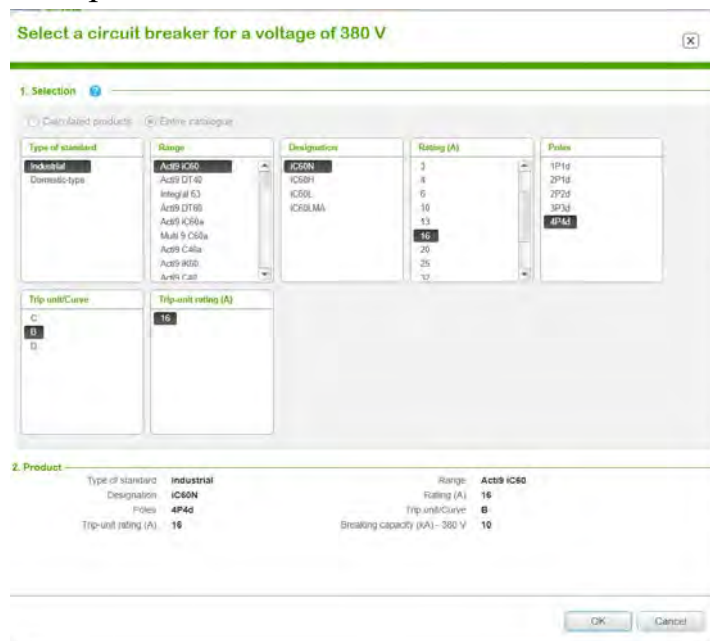


Рис. 2.4. Зображення процесу вибору параметрів диференціального вимикача у програмі *Ecodial*.

Випишуємо дані вибраного в результаті розрахунку 4-полюсного диференціального автоматичного вимикача IC60N Vigі iC60 В з  $I_{н.УЗО} = 16A$ ,  $\Delta I_{н.УЗО} = 30mA$  згідно рис. 2.5.

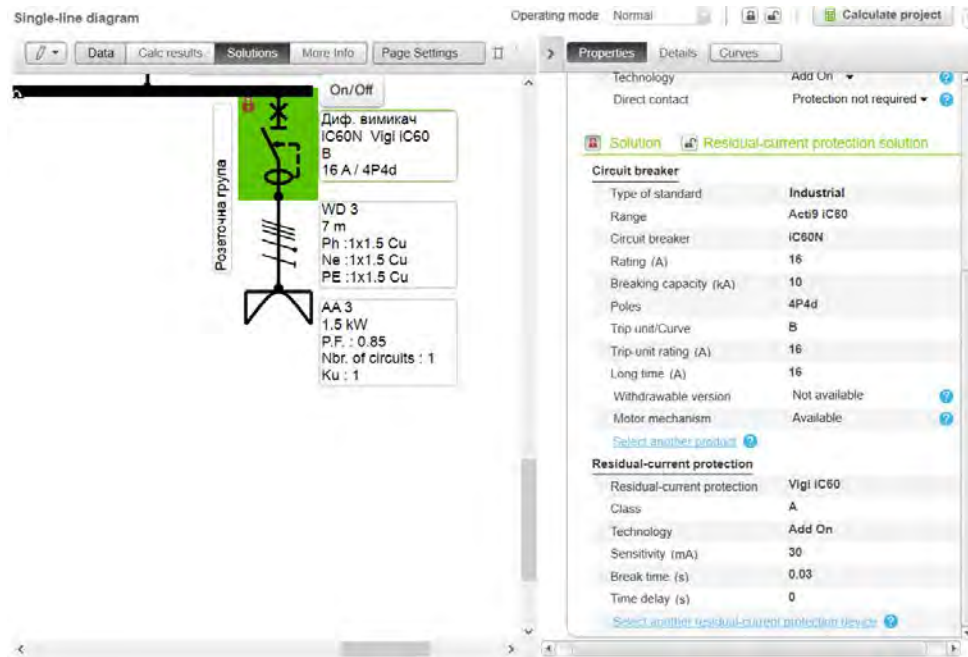


Рис. 2.5. Зображення вікна з параметрами диференціального автоматичного вимикача у програмі *Ecodial*.

Записуємо вибрані марки диференціальних вимикачів на схемі (рис. 2.6).

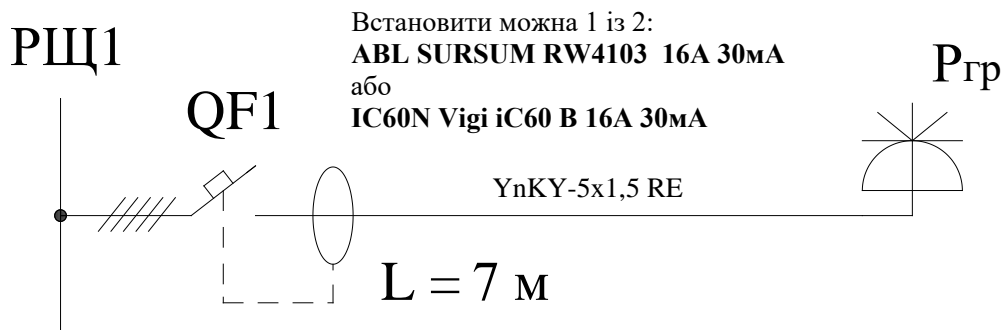


Рис. 2.6. Схема лінії «РЦ 1 – Розеточна група (Р<sub>гр</sub>)» з вибраними параметрами згідно двох методів.

Продовжуємо розрахунок «Лінія РЦ<sub>2</sub> – М1» (рис. 2.7) згідно методики за формулами:

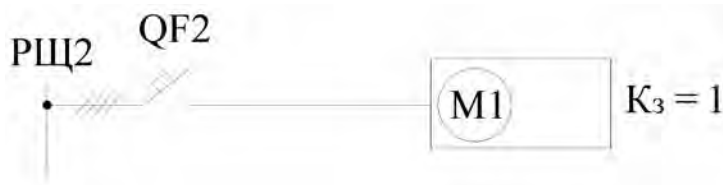


Рис. 2.7. Схема лінії «РЩ 2 – М1»

Знаходимо номінальний трифазний струм в лінії за формулою:

$$I_{н.мер.} = \frac{P_{M1}}{\sqrt{3}U_H \eta \cos \varphi} = \frac{1,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,75 \cdot 0,71} = 3,14 A$$

Знаходимо робочий струм в лінії:  $I_p = I_{н.мер.} K_3 = 3,14 \cdot 1 = 3,14 A$

Знаходимо номінальний струм автоматичного вимикача з каталогу за умовою:

$$I_{н.ав.} = 3,5 A \geq I_p = 3,14 A.$$

Виконуємо перевірку автоматичного вимикача за струмом електромагнітного розчіплювача та вибираємо характеристику спрацювання:

- у зв'язку із відсутністю у каталозі характеристики **В** переходимо до вибору характеристики спрацювання **С**:

$$I_{ел.маг.} = 10 I_{н.ав.} = 10 \cdot 3,5 = 35 A \geq I_{макс} = I_{II} = K_i I_{н.мер.} = 4,5 \cdot 3,14 = 14,13 A$$

Виконуємо перевірку автоматичного вимикача за струмом теплового розчіплювача та вибираємо характеристику спрацювання:

- для характеристики спрацювання **С**:

$$I_{тепл.} = 1,13 I_{н.ав.} = 1,13 \cdot 3,5 = 3,96 A \geq I_p = 3,14 A$$

Вибираємо з каталогу марку автоматичного вимикача: ABL SURSUM С3,5Т3.

Виконуємо перевірку вибраної марки (див. лаб. роб. 1) та перерізу проводу з каталогу за умовами:

$$I_{тр.д} = 19A > I_p = 3,14A$$

$$I_{тр.д} = 19A > I_{менл} = 3,96A$$

Марка проводу ВВГнг-4х1,5 РЕ, з перерізом жил  $F = 1,5 \text{ мм}^2$

*Виконуємо розрахунок в програмі Ecodial:*

Складаємо схему електроживлення електродвигуна М1 (рис. 2.8) та задаємо параметри згідно рис. 2.9.

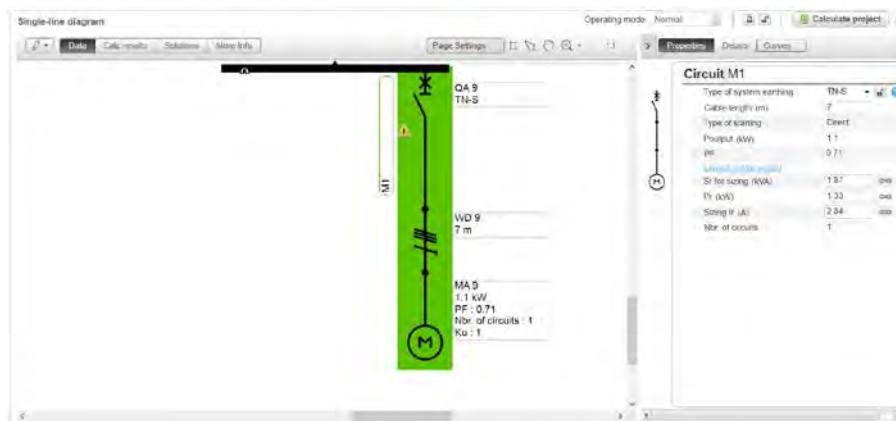


Рис. 2.8. Схема лінії «РЩ2 – М1» у програмі Ecodial.

The screenshot shows the 'Motor feeder wizard for a voltage of 380 V' dialog box. It is divided into several sections with the following parameters:

- Motor:**
  - Poutput (kW): 1.1
  - With thermal protection?: Yes
  - I<sub>start</sub>/I<sub>r</sub>: <=19
  - I<sub>r</sub> (A): 2.84
  - PF: 0.71
- Motor feeder:**
  - Power output used for sizing (kW): 1.1
  - Sizing I<sub>r</sub>: 2.84
  - Type of starting: Direct
  - Reversing: No
  - I<sub>start</sub>/I<sub>r</sub>: 4.5
- Thermal protection:**
  - Trip class: Class 10
  - Thermal protection type: Integrated
- Contactor:**
  - With contactor?: No

Buttons for 'OK' and 'Cancel' are located at the bottom right.

Рис. 2.9. Зображення процесу введення параметрів електродвигуна у програмі *Ecodial*.

Виконуємо розрахунок натискаючи на «Calculate project».

Вибираємо автоматичний вимикач марки Acti9 P25M M 4A/3P3d, що відповідає вибраному у першій частині розрахунку з параметрами  $I_{н.авт} = 4A$  згідно рис. 2.10. Автоматичний вимикач вибрано з  $I_{н.авт} = 4A$ , а не  $I_{н.авт} = 3,5A$  тому що у каталозі *Ecodial* відсутній автоматичний вимикач з  $I_{н.авт} = 3,5A$ .

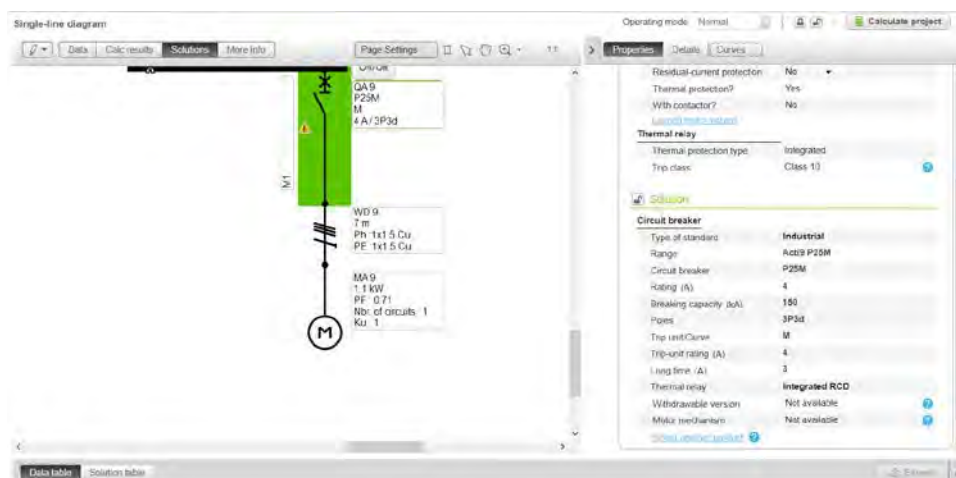


Рис. 2.10. Зображення процесу перегляду даних вибраного автоматичного вимикача у результаті розрахунку програми *Ecodial*.

Записуємо вибрані марки автоматичних вимикачів на схемі (рис.11).

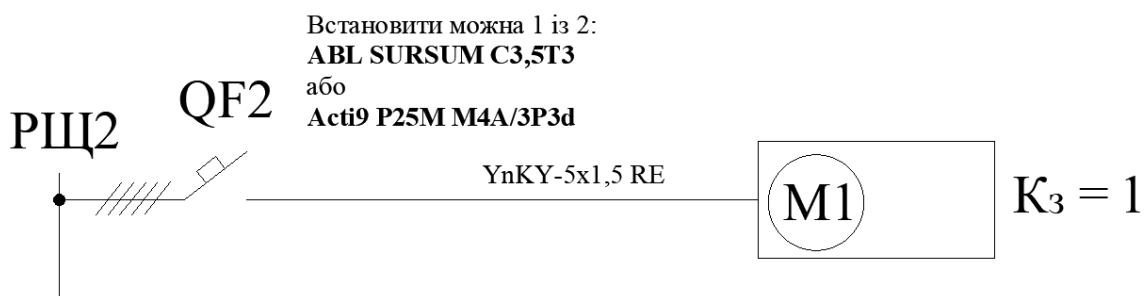


Рис. 2.11. Схема лінії «PЦ2 – M1» з вибраними параметрами згідно двох методів.

Продовжуємо розрахунок «Лінія РЩ2 – Електрообігрівач» (рис. 2.12) згідно методики за формулами:



Рис. 2.12. Схема лінії «РЩ 2 – Електрообігрівач»

Знаходимо номінальний трифазний струм в лінії за формулою:

$$I_{н.мер} = \frac{P_{ел}}{\sqrt{3}U_n \cos\phi} = \frac{2}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 1} = 3,04A$$

Знаходимо номінальний струм автоматичного вимикача з каталогу за умовою:

$$I_{н.ав.} = 3,5A \geq I_{н.мер} = 3,04A.$$

Виконуємо перевірку автоматичного вимикача за струмом електромагнітного розчіплювача та вибираємо характеристику спрацювання:

- у зв'язку із відсутністю у каталозі характеристики **В** переходимо до вибору характеристики спрацювання **С**:

$$I_{ел.маг.} = 10I_{н.ав.} = 10 \cdot 3,5 = 35A \geq I_{макс} = I_{н.мер} = 3,04A$$

Виконуємо перевірку автоматичного вимикача за струмом теплового розчіплювача та вибираємо характеристику спрацювання:

- для характеристики спрацювання **С**:

$$I_{тепл.} = 1,13I_{н.ав.} = 1,13 \cdot 3,5 = 3,96A \geq I_p = 3,04A$$

Вибираємо з каталогу марку автоматичного вимикача: ABL SURSUM C3,5T3.

Виконуємо перевірку вибраної марки (див. лаб. роб. 1) та перерізу проводу з каталогу [6] за умовами:

$$I_{тр.д} = 19A > I_p = 3,04A$$

$$I_{тр.д} = 19A > I_{менл} = 3,96A$$

Марка проводу ВВГнг-4х1,5 RE, з перерізом жил  $F = 1,5 \text{ мм}^2$

*Виконуємо розрахунок в програмі Ecodial:*

Складаємо схему електроживлення електрообігрівача (рис. 2.13) та задаємо параметри.

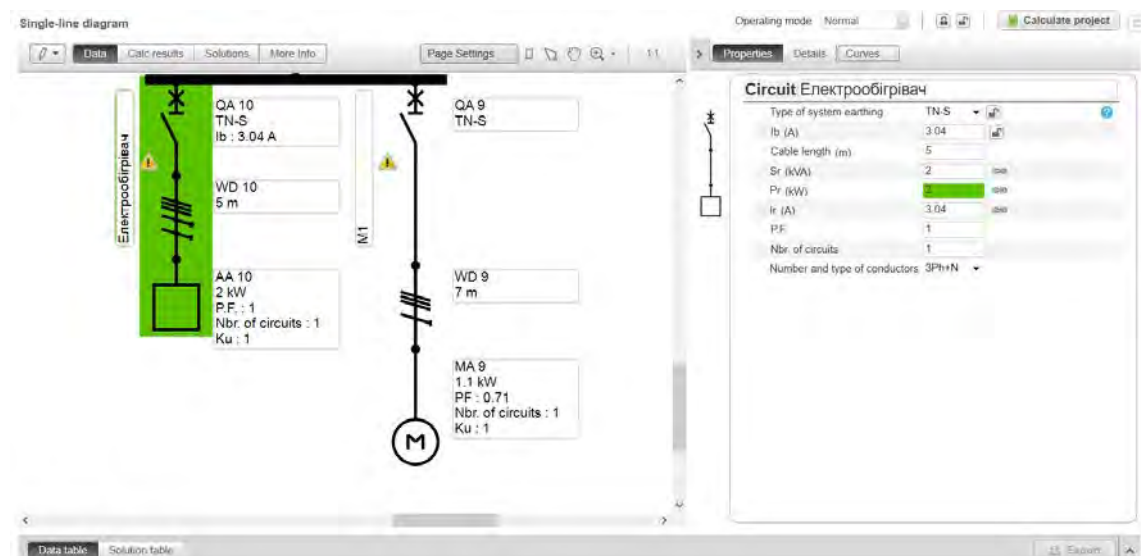


Рис. 2.13. Схема лінії «РЩ2 – Електрообігрівач» у програмі *Ecodial*.

Виконуємо розрахунок натискаючи на «Calculate project».

Вибираємо автоматичний вимикач марки Acti9 iC60N 4A/4P4d, що відповідає вибраному у першій частині розрахунку з параметрами  $I_{н.авт} = 4A$  згідно рис. 2.14. Автоматичний вимикач вибрано з  $I_{н.авт} = 4A$ , а не  $I_{н.авт} = 3,5A$  тому що у каталозі *Ecodial* відсутній автоматичний вимикач з  $I_{н.авт} = 3,5A$ .

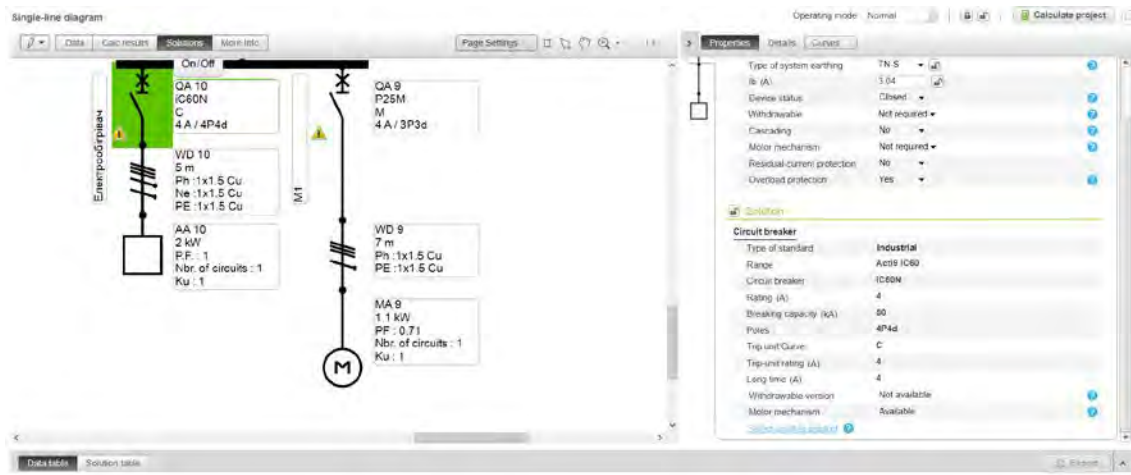


Рис. 2.14. Зображення процесу перегляду даних вибраного автоматичного вимикача у результаті розрахунку програми *Ecodial*.

Записуємо вибрані марки автоматичних вимикачів на схемі (рис. 2.15).

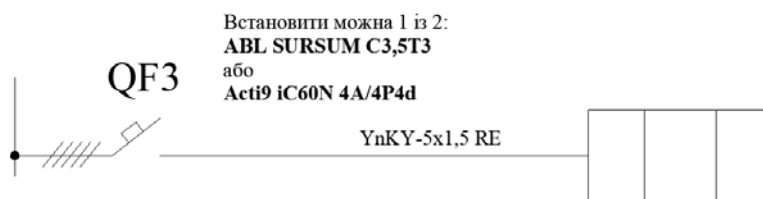


Рис. 2.15. Схема лінії «РЦ 2 – Електрообігрівач» з вибраними параметрами згідно двох методів.

Виконаємо розрахунок лінії «РЦ 1–РЦ2» згідно рис. 2.16.

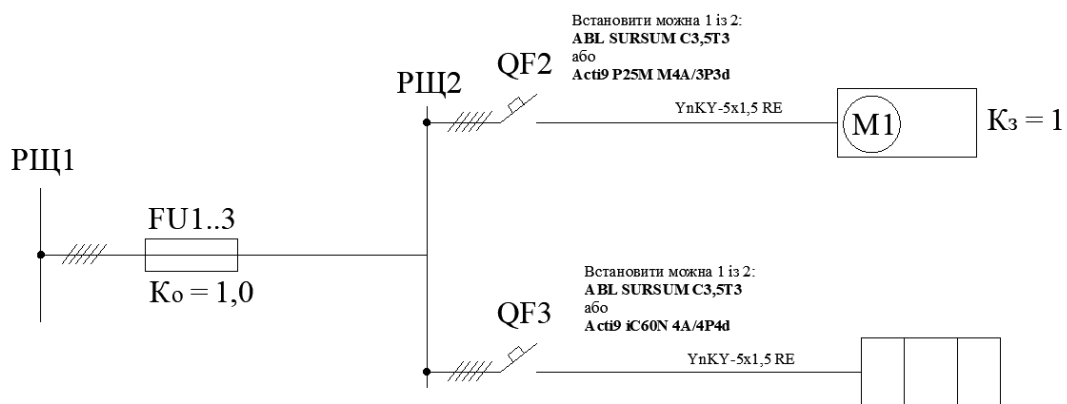


Рис. 2.16. Схема лінії «РЦ 1 – РЦ 2» з розрахунковими даними ліній РЦ2

Знаходимо номінальний трифазний струм в лінії за формулою:

$$I_{н.мер.} = K_O (I_{M1} + I_{ел}) = 1 \cdot (3,14 + 3,04) = 6,18A$$

Знаходимо максимальний струм електричної мережі за формулою:

$$I_{макс.мер.} = K_O \left( \frac{I_{П.М1}}{\alpha} + I_{РСПОЖ1} \right) = 1 \cdot \left( \frac{14,13}{2,5} + 3,04 \right) = 8,7A$$

Знаходимо струм плавкої вставки запобіжника з каталогу [7] за умовою:

$$I_{В.ЗАП} = 10A \geq I_{макс.мер.} = 8,7A$$

Вибираємо номінальний струм запобіжника з каталогу за умовою:

$$I_{Н.ЗАП} = 15A \geq I_{В.ЗАП} = 10A$$

Вибираємо з каталогу марку запобіжника: ЗР-2 10-15А.

Виконуємо перевірку вибраної марки (див. лаб. роб. 1) та перерізу проводу з каталогу за умовами:

$$I_{тр.д} = 19A > I_{н.мер} = 6,18A$$

$$I_{тр.д} = 19A > I_{В.ЗАП} = 10A$$

Марка проводу YnKY-5x1,5 RE, з перерізом жил  $F = 1,5 \text{ мм}^2$ .

Отже, провід марки YnKY-5x1,5 RE вибрано вірно.

*Виконуємо розрахунок в програмі Ecodial:*

Складаємо схему електроживлення лінії РЦ1-РЦ2 (рис. 2.17) та задаємо параметри.

Виконуємо розрахунок натискаючи на «Calculate project».

Вибираємо запобіжник марки INF40 DIN/gG 10A/4P3f, що відповідає вибраному у першій частині розрахунку з параметрами  $I_{В.ЗАП} = 10A$  згідно рис. 2.18.

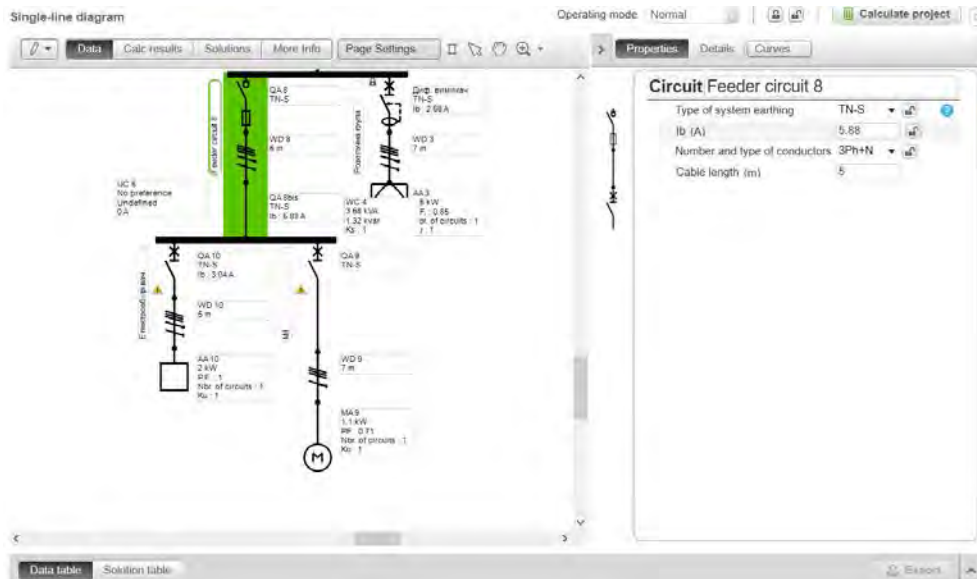


Рис. 2.17. Схема лінії «РЦ1 – РЦ2» у програмі *Ecodial*.

The screenshot shows the 'Select fusegear for a voltage of 380 V' dialog box. It is divided into two main sections: '1. Selection' and '2. Product'.

**1. Selection**

- Fuse carrier:** Fuse + fuse carrier (selected), Fuse alone.
- Fuse on the neutral:** Phase + Neutral (selected), Phase only.
- Technology:** DIN (selected), NFC, BS.
- Type:** aM, gG (selected).
- Fuse size:** NH0, NH00, NH000 (selected), NH1, NH2, NH3, NH4.
- Phase rating (A):** 2, 4, 6, 10 (selected), 16, 20, 25, 32, 15.
- Fuse carrier range:** Fupact (selected), GS.
- Designation of fuse carrier:** INFD160, INFD63, ISFL160, ISFT100, INFD40 (selected), ISFT160.
- Number of poles of fuse carrier:** 3P3f, 4P3f (selected).

**2. Product**

Technology	DIN	Type	gG
Fuse size	NH000	Phase rating (A)	10
Breaking capacity (kA)	100		
Fuse carrier range	Fupact	Designation of fuse carrier	INFD40
Number of poles of fuse carrier	4P3f	Switch function	Available
Mobility of fuse carrier	Available	Disconnecter function	Available

Buttons: OK, Cancel

Рис. 2.18. Зображення процесу вибору запобіжника у програмі *Ecodial*.

Зобразимо схему із вибраним запобіжником марки INFD40 DIN/gG 10A/4P3f на рис. 2.19.

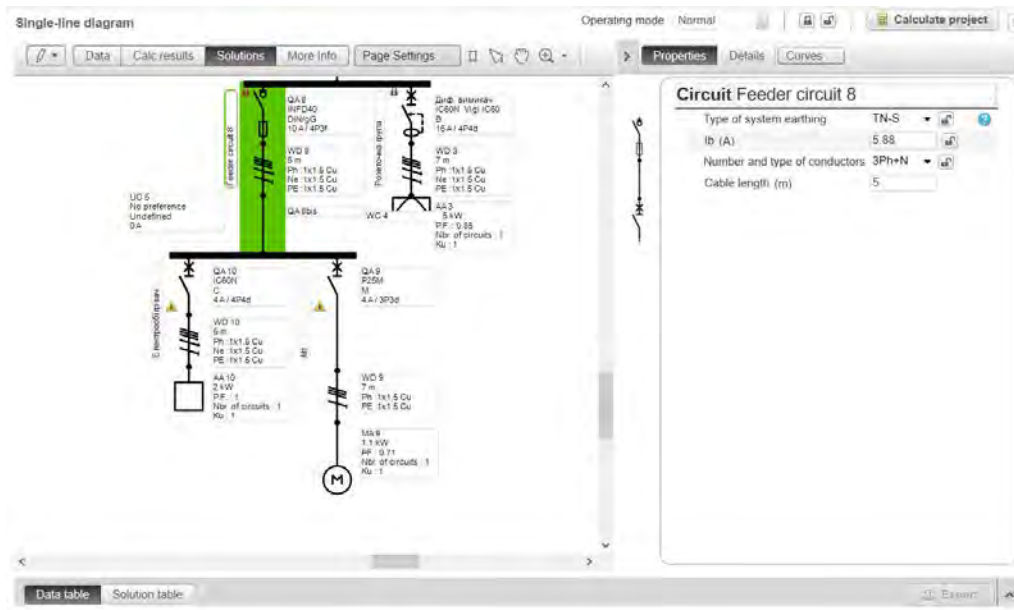


Рис. 2.19. Зображення схеми електроживлення лінії РЩ1-РЩ2 з вибраним запобіжником у програмі *Ecodial*.  
Записуємо вибрані марки запобіжників на схемі (рис. 2.20).

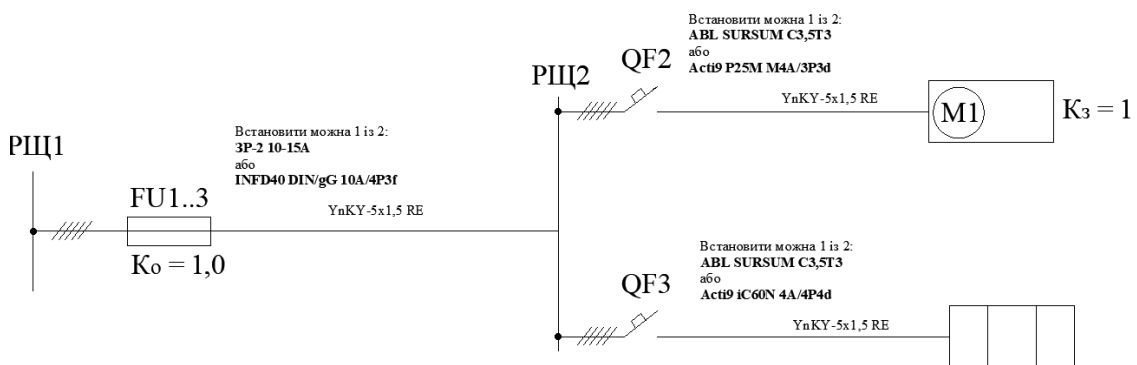


Рис. 2.20. Схема лінії «РЩ 1 – РЩ2» з вибраними параметрами згідно двох методів.

## 2.4. Приклад оформлення результатів

Для звершення виконаної лабораторної роботи оформляємо результати розрахунку і вибору електрообладнання на окремій сторінці.

## Лабораторна робота № 2

Дисципліна \_\_\_\_\_  
 Група \_\_\_\_\_  
 ПІБ \_\_\_\_\_  
 Дата \_\_\_\_\_

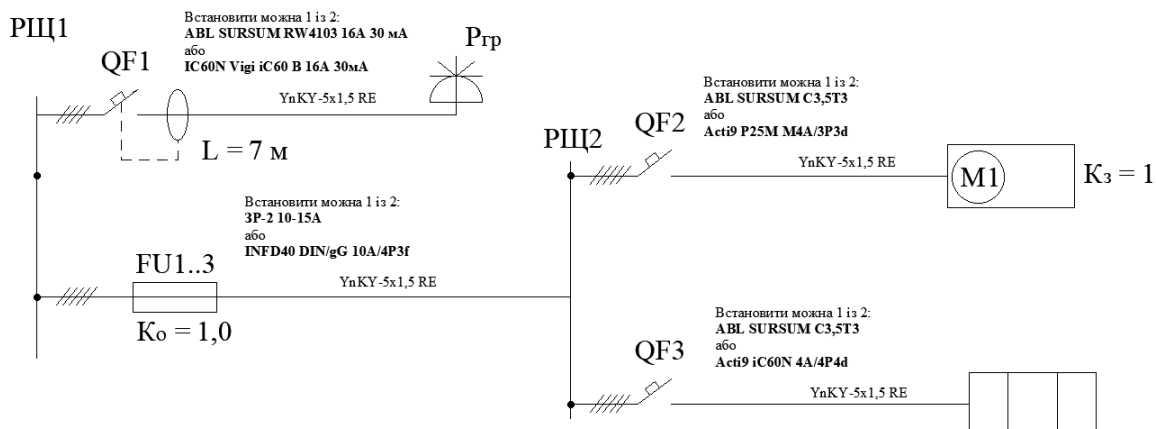
### ВАРІАНТ 1

Таблиця 1

#### Вихідні дані

Номер (марка) електродвигуна, навантаження	P <sub>н</sub> , кВт	K <sub>i</sub>	η, %	cos φ
P <sub>гр</sub> (розеточна група)	1,5	-	-	0,85
M1 (AIS90S4)	1,1	4,5	75,0	0,71
Електрообігрівач	2,0	-	-	1,0

#### Результати розрахунку



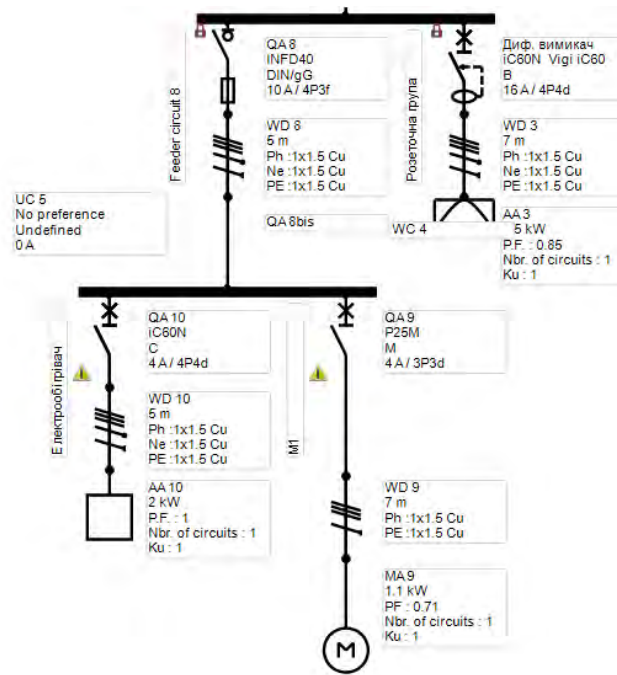


Рис. 1. Спрощена схема електричної мережі напругою 380 В виробничого приміщення (зображені апарати захисту, які необхідно вибрати).

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

## Проектування розподільних електричних щитів напругою 0,38 кВ (використання програмного комплексу)

### 3.1. Мета та завдання.

**Мета:** навчитися розраховувати навантаження ліній живлення і вводитів у робочому режимі та компоувати розподільні електричні щити напругою 0,38 кВ.

#### Завдання:

1. Виконати розрахунок та вибір автоматичних вимикачів для захисту ліній на комп'ютері з використанням програмного комплексу. Оформити результати процесу виконаного розрахунку.

2. Виконати розрахунок та вибір автоматичного вимикача вводу на комп'ютері з використанням програмного комплексу та згідно вимог ДБН В.2.5-23:2010. Оформити результати процесу виконаного розрахунку.

3. Розробити компоувку розподільного електричного щита відповідно до свого завдання і попереднього розрахунку з використанням програмного комплексу. Оформити результати процесу виконаного розрахунку.

4. Оформити результати виконаної роботи відповідно свого варіанту для перевірки.

### 3.2. Порядок розрахунку та вибору автоматичних вимикачів для захисту ліній з використанням програмного комплексу

Випишемо завдання згідно свого варіанту. Розрахувати електричне навантаження лінії живлення і вводу в програмі Ecodial та згідно вимог ДБН В.2.5-23:2010 [3]. Згідно розрахованого навантаження вибрати автоматичний вимикач вводу для захисту РЩ1. Вихідні дані у табл. 3.1, а схема для розрахунку зображена на рис. 3.1.

Таблиця 3.1

Випишемо дані навантаження груп згідно свого варіанту

Вид навантаження	$P_n$ , кВт	$\cos \varphi$	$K_p$ ( $K_u$ )	$L$ , м
Ргр (розеточна група)	1,5	0,85	1,0	10
HL1 (група освітлення)	0,5	0,92	1,0	10
T1 (Електрообігрівач)	2,0	1,0	1,0	10
K1 (Кондиціонер)	3,0	0,9	1,0	10

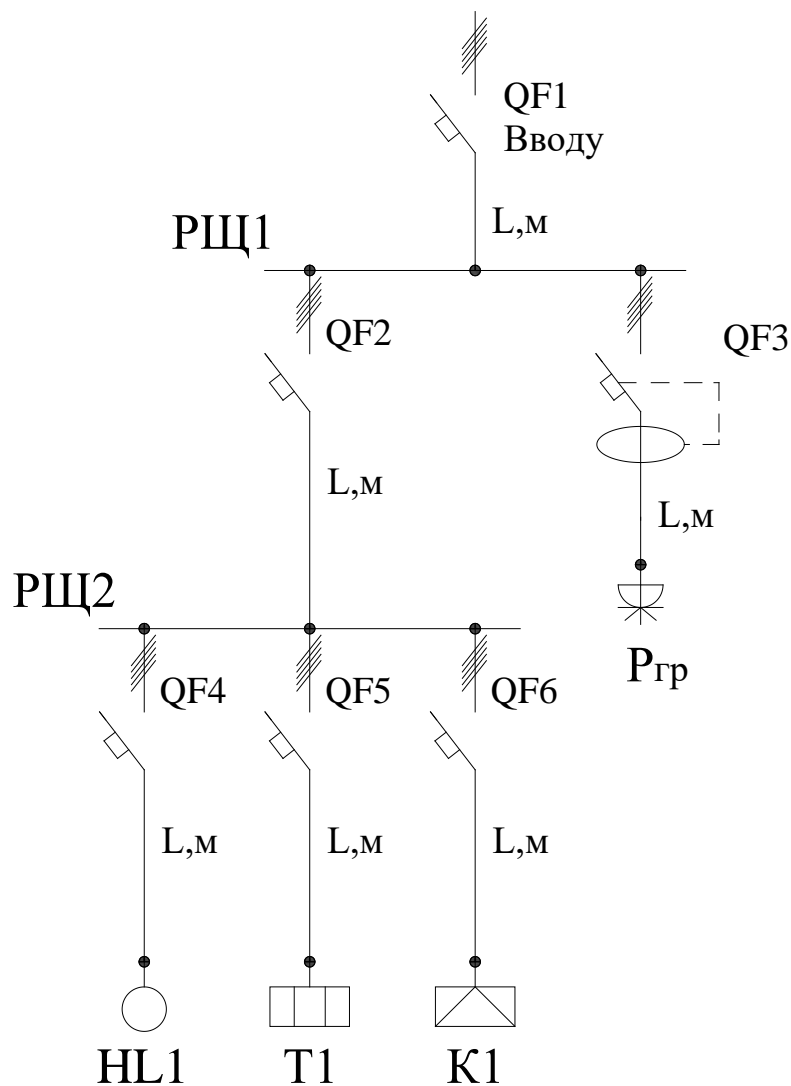


Рис. 3.1. Спрощена схема електричної мережі напругою 380 В виробничого приміщення

Виконуємо розрахунок в програмі *Ecodial*.

Згідно отриманого досвіду у процесі виконання лабораторних робіт 1 і 2 складаємо схему електроживлення розподільних щитів РЩ1 і РЩ2 та задаємо потужності навантаження згідно варіанту. Електрична схема виконана в програмі *Ecodial* з проведеним розрахунком (Calculate project), що відповідає завданню зображена на рис. 3.2.

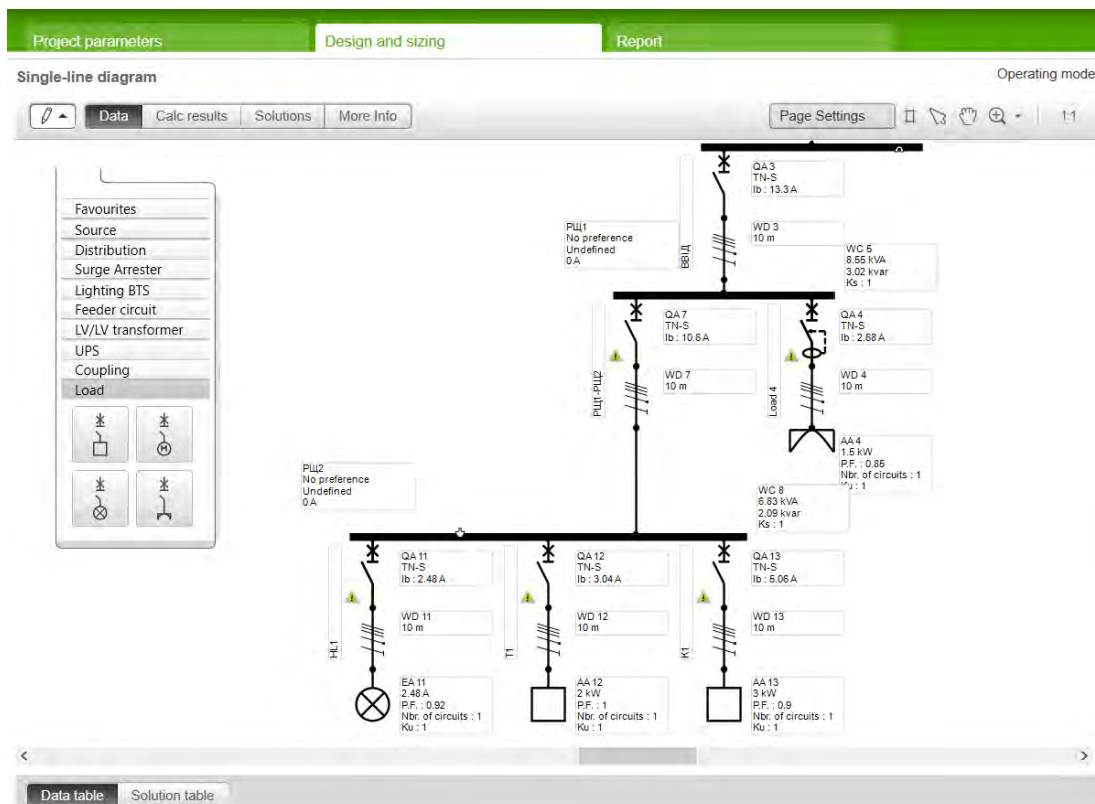


Рис. 3.2. Однолінійна електрична схема у програмі *Ecodial*.

Відповідно до стандарту МЕК (IEC) 60439-1, у разі відсутності точної інформації для збірних шин розподільних щитів коефіцієнт одночасності  $K_o$  ( $K_s$  – Diversity factor) складає:

- для 1 лінії –  $K_o = 1$ ;
- для 2-3 ліній –  $K_o = 0,9$ ;
- для 4-5 ліній –  $K_o = 0,8$ ;

- для ліній від 6 до 9 –  $K_o = 0,7$ ;
- для ліній від 10 до 40 –  $K_o = 0,6$ ;
- понад 40 –  $K_o = 0,5$ .

Отже, так як розподільні електричні щити РЩ1 має 2 лінії, РЩ2 має 3 лінії, то в обох випадках встановлюємо  $K_o = 0,9$  ( $K_s = 0,9$ ), так як це зображено на рис. 3.3.

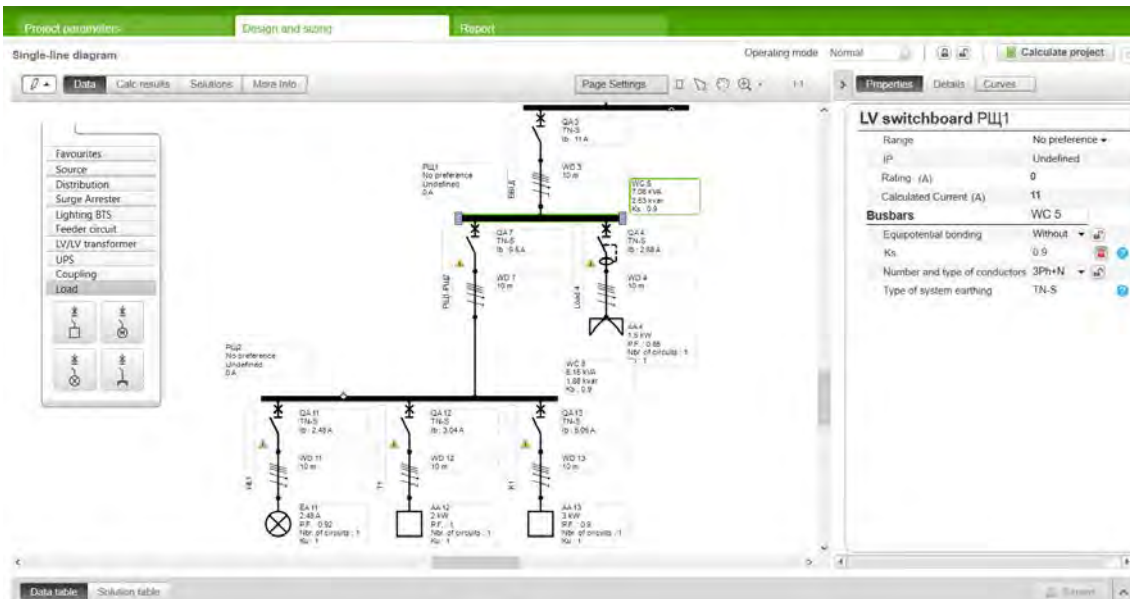


Рис. 3.3. Зображення процесу встановлення коефіцієнту одночасності у програмі *Ecodial*.

Виконуємо розрахунок натискаючи на «Calculate project».

Вибираємо розділ «Data» у вкладці меню «Single-line diagram» для відображення розрахункової потужності розподільних електричних щитів та розрахункових трифазних струмів на лініях, згідно рис. 3.4.



Рис. 3.4. Зображення електричної схеми у розділі «Data» вкладки меню «Single-line diagram».

Згідно аналізу схеми (рис. 3.4) отримуємо такі потужності розподільного електричного щита РЩ1:

$$S_{PЩ1} = 7,08 \text{ кВА};$$

$$Q_{PЩ1} = 2,53 \text{ квар.}$$

Так як активна потужність на схемі не відображається, визначаємо її згідно рівняння:

$$P_{PЩ1} = \sqrt{S_{PЩ1}^2 - Q_{PЩ1}^2} = \sqrt{7,08^2 - 2,53^2} = 6,6 \text{ кВт.}$$

Для захисту електричної мережі з трифазним робочим струмом  $I_p=11 \text{ A}$  вибираємо автоматичний вимикач вводу Acti9 IC60N C 13A/4P4d, згідно рис. 3.5.



Рис. 3.5. Зображення електричної схеми у розділі «Solutions» вкладки меню «Single-line diagram».

### 3.3. Порядок розрахунку та вибору автоматичного вимикача вводу з використанням програмного комплексу

*Виконуємо розрахунок навантаження лінії живлення і вводу згідно вимог ДБН В.2.5-23:2010.*

Згідно пункту 3.32 ДБН [3], «розрахункове навантаження ліній живлення і вводів у робочому та післяаварійному режимах при спільному живленні силових електроприймачів і освітлення  $P_{заг}$  слід визначати за формулою:

$$P_{заг} = K(P_{ос} + P_{ел.с} + P_{хк} \cdot K_1),$$

Таблиця 3.2

#### Коефіцієнти таблиці 3.13 Державних будівельних норм В.2.5-23:2010

Організації, підприємства та установи	Коефіцієнт $K$ при відношенні розрахункового навантаження освітлення до силового, %		
	від 20 до 75 включно	понад 75 до 140 включно	понад 140 до 250 включно
Підприємства торгівлі і громадського харчування, готелі, побутові будинки промпідприємств	0,90 (0,85)	0,85 (0,75)	0,90 (0,85)
Загальноосвітні школи, спеціальні навчальні заклади, профтехучилища	0,95	0,90	0,95
Дитячі ясла-садки	0,85	0,80	0,85

Ательє, комбінати побутового обслуговування, хімчистки з пральнями самообслуговування, перукарні	0,85	0,75	0,85										
Організації та установи управління, фінансування і кредитування, адмініст-ративні будинки промпідприємств, проектні та конструкторські організації	0,95 (0,85)	0,90 (0,75)	0,95 (0,85)										
<p>Примітка 1. При відношенні розрахункового освітлювального навантаження до силового до 20 % і понад 250 % коефіцієнт <math>K</math> приймають таким, що дорівнює 1.</p> <p>Примітка 2. У дужках наведений коефіцієнт <math>K</math> для будинків і приміщень з кондиціонуванням повітря.</p> <p>Примітка 3. Коефіцієнт <math>K_1</math> при відношенні розрахункового навантаження освітлення до розрахункового навантаження холодильного устаткування холодильної станції, %:</p> <table> <tr> <td>1</td> <td>до 15 %</td> </tr> <tr> <td>0,8</td> <td>20 %</td> </tr> <tr> <td>0,6</td> <td>50 %</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>100 %</td> </tr> <tr> <td>0,2</td> <td>більше 150 %</td> </tr> </table> <p>При цьому коефіцієнт попиту для проміжних співвідношень визначається інтерполяцією. У розрахунковому навантаженні освітлення не враховуються навантаження приміщень без природного освітлення</p>				1	до 15 %	0,8	20 %	0,6	50 %	0,4	100 %	0,2	більше 150 %
1	до 15 %												
0,8	20 %												
0,6	50 %												
0,4	100 %												
0,2	більше 150 %												

де  $K$  – коефіцієнт, що враховує розбіжність розрахункових максимумів навантажень силових електроприймачів, включаючи холодильне устаткування і освітлення, прийнятий за таблицею 3.13 ДБН;

$P_{oc}$  – розрахункове навантаження освітлення, кВт;

$P_{ел.с}$  – розрахункове навантаження силових електроприймачів без холодильних машин систем кондиціонування повітря, кВт;

$P_{хк}$  – розрахункове навантаження холодильного устаткування систем кондиціонування повітря, кВт;

$K_1$  – коефіцієнт, що залежить від відношення розрахункового навантаження освітлення до навантаження холодильного устаткування холодильної станції, прийнятий згідно з приміткою 3 до таблиці 3.13 ДБН».

Згідно вихідних даних таблиці 3.1, визначаємо потужності розрахункового навантаження освітлення  $P_{oc}$ , розрахункове навантаження силових електроприймачів без холодильних машин систем

кондиціонування повітря  $P_{ел.с}$ , розрахункове навантаження холодильного устаткування систем кондиціонування повітря  $P_{хк}$ . Результати розрахунку заносимо до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

<b>Розрахункове навантаження електроприймачів</b>	
Вид навантаження	Потужність, кВт
$P_{ос}$	0,5
$P_{ел.с}$	3,5
$P_{хк}$	3,0

Визначаємо коефіцієнт, що враховує розбіжність розрахункових максимумів навантажень силових електроприймачів, включаючи холодильне устаткування і освітлення:

$$K_{\%} = \frac{P_{ос}}{P_{ел.с}} 100\% = \frac{0,5}{3,5} 100\% = 14,28\%$$

Тоді згідно таблиці 3.2,  $K = 1$ .

Визначаємо коефіцієнт, що залежить від відношення розрахункового навантаження освітлення до навантаження холодильного устаткування холодильної станції:

$$K_{\%} = \frac{P_{ос}}{P_{хк}} 100\% = \frac{0,5}{3,0} 100\% = 16,67\%$$

Тоді згідно таблиці 3.2,  $K_1 = 0,8$ .

Підставляємо розраховані дані коефіцієнтів та отримані дані із таблиці 3 у рівняння визначення навантаження вводу:

$$P_{заг} = K(P_{ос} + P_{ел.с} + P_{хк} \cdot K_1) = 1 \cdot (0,5 + 3,5 + 3,0 \cdot 0,8) = 6,4 \text{ кВт.}$$

Для вибору автоматичного вимикача вводу необхідно знати параметри навантаження на вводі, а саме:

- номінальна напруга мережі  $U_H = 380 \text{ В}$ ;
- загальна потужність повна, або активна  $P_{заг} = 6,4 \text{ кВт}$ ;
- коефіцієнт потужності (у разі використання  $P_{заг}$ )  $\cos \varphi$ .

Отже, для визначення  $\cos \varphi$  проводимо наступні розрахунки.

Використовуючи вихідні дані навантаження із табл. 3.1 визначаємо активну та повну потужність розподільного щита РЩ2 за рівняннями:

- повні потужності навантаження

$$S_{oc} = \frac{P_{oc}}{\cos \varphi} = \frac{0,5}{0,92} = 0,54 \text{ кВА}$$

$$S_{ел.с} = \frac{P_{ел.с}}{\cos \varphi} = \frac{2}{1} = 2 \text{ кВА}$$

$$S_{хк} = \frac{P_{хк}}{\cos \varphi} = \frac{3}{0,9} = 3,33 \text{ кВА}$$

- активна та повна потужності розподільного щита РЩ2

$$P_{РЩ2} = P_{oc} + P_{ел.с} + P_{хк} = 0,5 + 2 + 3 = 5,5 \text{ кВт}$$

$$S_{РЩ2} = S_{oc} + S_{ел.с} + S_{хк} = 0,54 + 2 + 3,33 = 5,88 \text{ кВА}$$

Проводимо визначення активної та повної потужності розподільного щита РЩ1 за рівняннями:

- повні потужності навантаження розеточної групи

$$S_p = \frac{P_p}{\cos \varphi} = \frac{1,5}{0,85} = 1,77 \text{ кВА}$$

- активна та повна потужності розподільного щита РЩ1

$$P_{РЩ1} = P_{рщ2} + P_p = 5,5 + 1,5 = 7 \text{ кВт}$$

$$S_{РЩ1} = S_{РЩ2} + S_p = 5,88 + 1,77 = 7,65 \approx 7,7 \text{ кВА}$$

Розраховуємо загальний коефіцієнт потужності  $\cos \varphi$  розподільного щита РЩ1:

$$\cos \varphi = \frac{P_{рщ1}}{S_{РЩ1}} = \frac{7}{7,7} = 0,9$$

Визначаємо трифазний робочий струм електричної мережі (рис. 3.1) за формулою:

$$I_p = \frac{P_{заг}}{\sqrt{3}U_n \cos \varphi} = \frac{6,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9} = 10,8 \text{ А}$$

Порівнюємо розрахований згідно рівнянь трифазний робочий струм електричної мережі  $I_p=10,8$  А з розрахунковим значенням отриманим в результаті комп'ютерного розрахунку  $I_p=11$  А.

Якщо використати методику вибору автоматичного вимикача (лабораторна робота 2), то переконуємося, що автоматичний вимикач відповідає попередньому комп'ютерному розрахунку та вибору, а саме **автоматичному вимикачу вводу марки Acti9 IC60N C 13A/4P4d**, зображеному на рис. 3.5.

### **3.4. Порядок розробки компоновки розподільного електричного щита з використанням програмного комплексу**

*Спроектуємо компоновку розподільного електричного щита відповідно до свого завдання і попереднього розрахунку в програмі Rapsody [8].*

З попередніх розрахунків у програмі Escodial, відомо, що:

- для розподільного електричного щита РЩ1 трифазний робочий струм  $I_{рщ1} = 11$  А, а трифазний струм короткого замикання  $I_{кЗм(рщ1)} = 1,46$  кА;

- для розподільного електричного щита РЩ2 трифазний робочий струм  $I_{рщ2} = 9,5$  А, а трифазний струм короткого замикання  $I_{кЗм(рщ2)} = 0,85$  кА.

Проектуємо розподільний щит РЩ2. Для цього створюємо «Новий проект» в програмі Rapsody. Задаємо параметри як це показано на рис. 3.6. Важливо, щоб відключаюча здатність та номінальний струм щита були більшими за розрахункові значення отримані в Escodial.

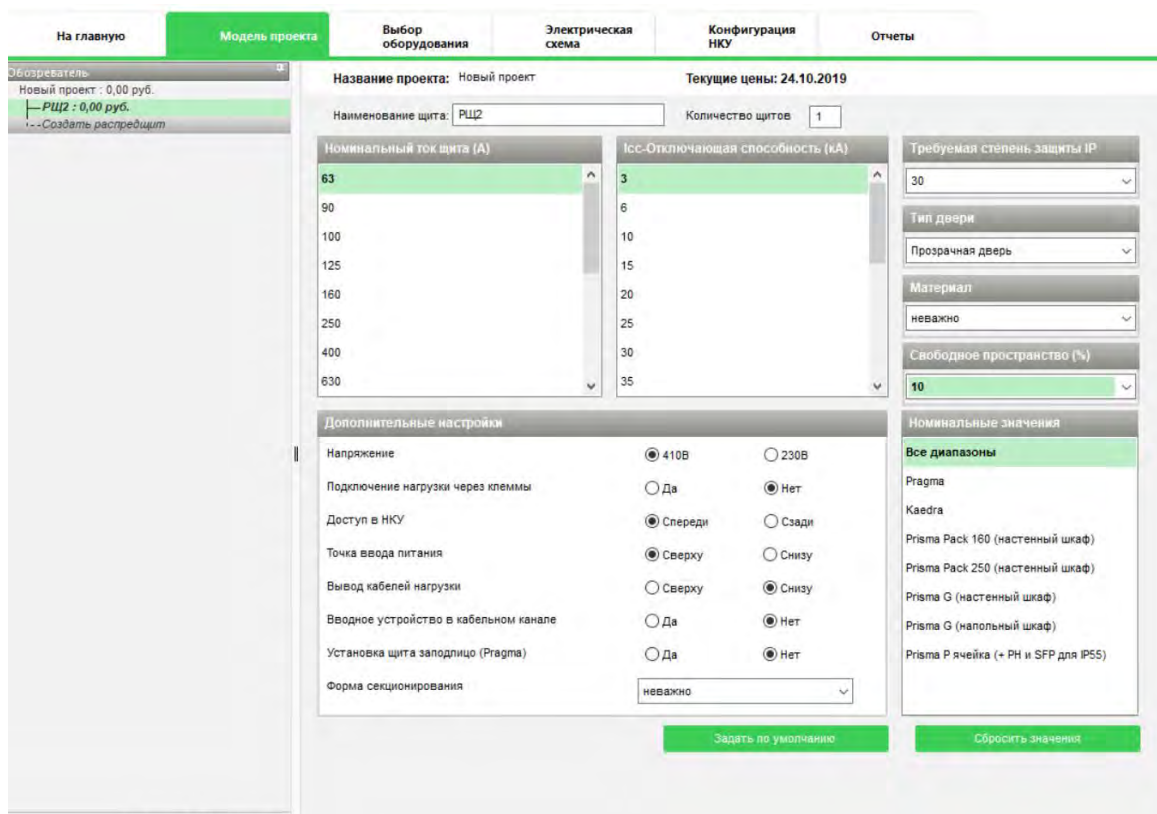


Рис. 3.6. Зображення вкладки «Модель проекта» для налаштування параметрів розподільного щита РЩ2

В наступній дії переходимо до вкладки «Вибір обладнання». Із зображення електричної схеми у розділі «Solutions» вкладки меню «Single-line diagram» (рис. 3.5) у програмі Ecodial виписуємо назви автоматичних вимикачів які потрібно встановити у РЩ2:

для лінії HL1 – Acti9 iC60N C3A/4P4d – 1 шт

для лінії T1 – Acti9 iC60N C4A/4P4d – 1 шт

для лінії K1 – Acti9 iC60N C6A/4P4d – 1 шт

Процес, в якому відображається вибір автоматичних вимикачів у програмі Rapsody зображено на рис. 3.7.

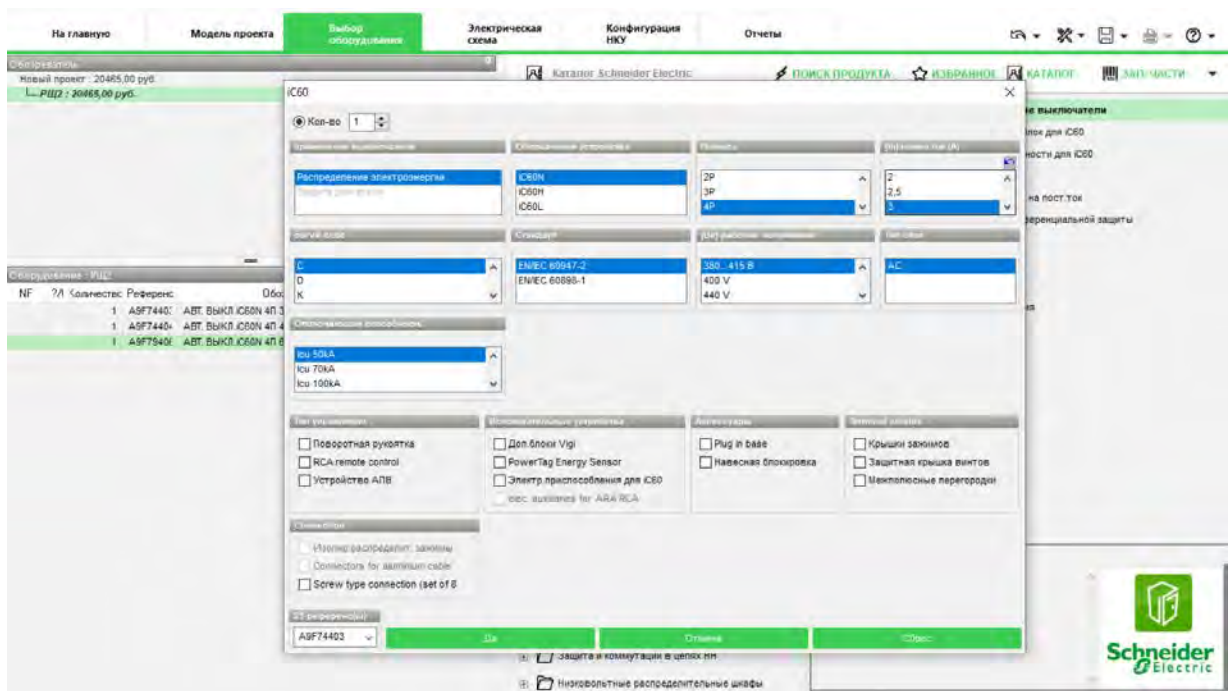


Рис. 3.7. Зображення процесу вибору автоматичних вимикачів у програмі Rapsody

У вкладці «Електрична схема» проводимо розміщення автоматичних вимикачів у порядку, як це зображено на схемі рис. 3.5. При цьому ввідний автоматичний вимикач для розподільного щита РЩ2, згідно завдання відсутній, тому у проекті робимо пряме входнє з'єднання, як це зображено на рис. 3.8.

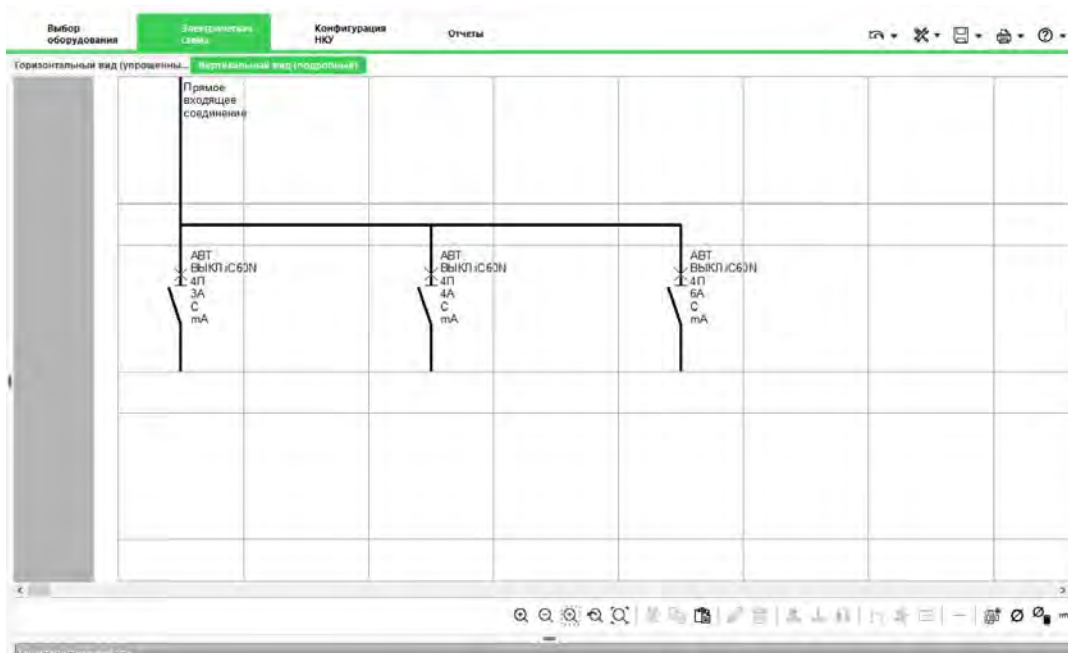


Рис. 3.8. Зображення вкладки «Електрична схема» для розподільного щита РЩ2

Відредагувавши параметри у вкладці «Електрична схема» переходимо до вкладки «Конфігурація НКУ». У даній вкладці потрібно вибрати напівавтоматичний режим компонування розподільного щита РЩ2 і підтвердити намір натиснувши клавішу на дисплеї «Підтвердити режим». Далі вибираємо щит з одним рядом для автоматичних вимикачів, адже у щиті лише 3 автоматичні вимикачі, що є більше ніж достатньо (рис. 3.9).

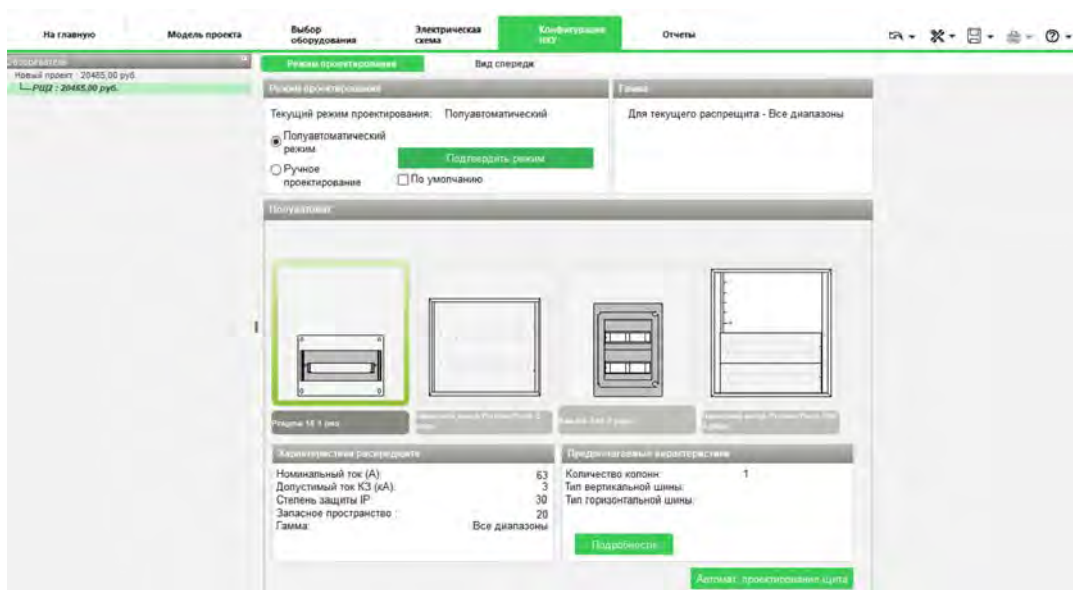


Рис. 3.9. Зображення вкладки «Конфігурація НКУ» у програмі Rapsody

У даній вкладці необхідно здійснити перевірку параметрів розподільного щита РЩ2 на допустимі номінальні струми, струми короткого замикання, міжнародний степінь захисту від пилу та вологи та інше. Після перевірки натискаємо клавішу на дисплеї «Автоматичне проектування щита». Результат проектування зображено на рис. 3.10. Потрібно розуміти, що у даному випадку до компоновки щита залучені лише корпус щита та основне обладнання (автоматичні вимикачі) без додаткового монтажного обладнання. Проте за потреби (у завданні не враховано у зв'язку із перевантаженням лабораторної роботи) таке

обладнання може бути доукомплектовано, адже програмне забезпечення Rapsody дозволяє це зробити.

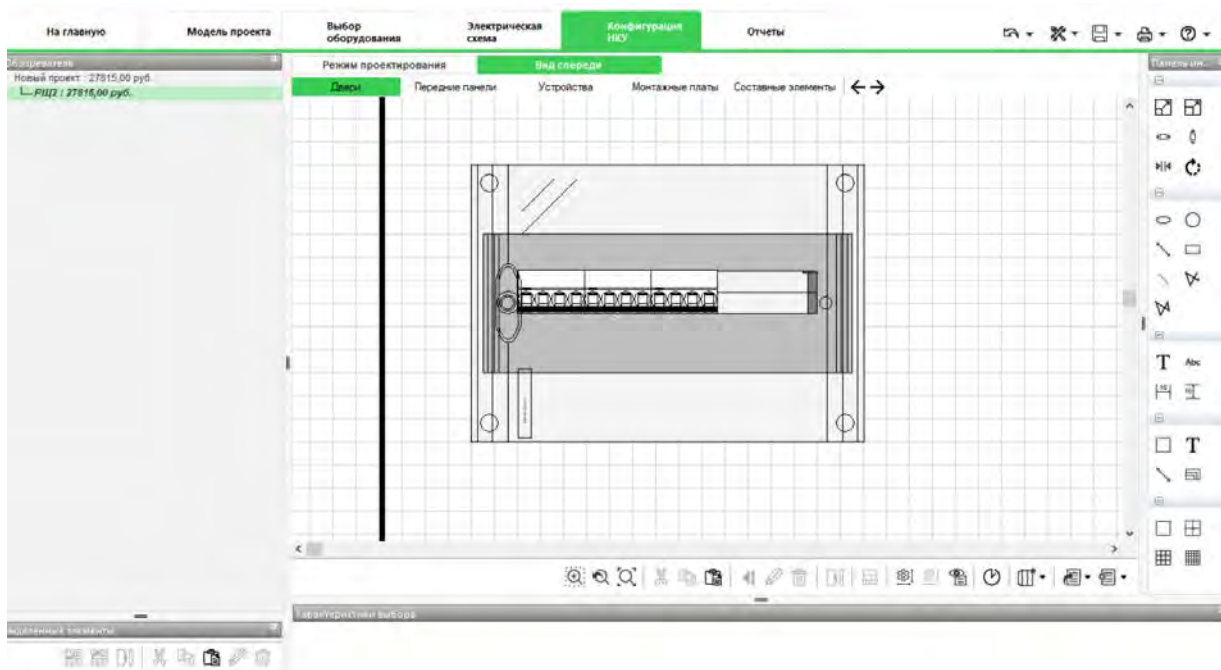


Рис. 3.10. Вид спереду розподільного щита РЩ2 отриманого у результаті проектування.

Проектуємо розподільний щит РЩ1. Для цього переходимо на вкладку «Модель проекта» в програмі Rapsody. Далі натискаємо меню «Створити розщит» та задаємо параметри як це показано на рис. 3.11. Важливо, щоб відключаюча здатність та номінальний струм щита РЩ1 були більшими за розрахункові значення отримані в Ecodial, а саме для розподільного електричного щита РЩ1 трифазний робочий струм  $I_{рщ1} = 11 \text{ А}$ , а трифазний струм короткого замикання  $I_{кЗм(рщ1)} = 1,46 \text{ кА}$ .

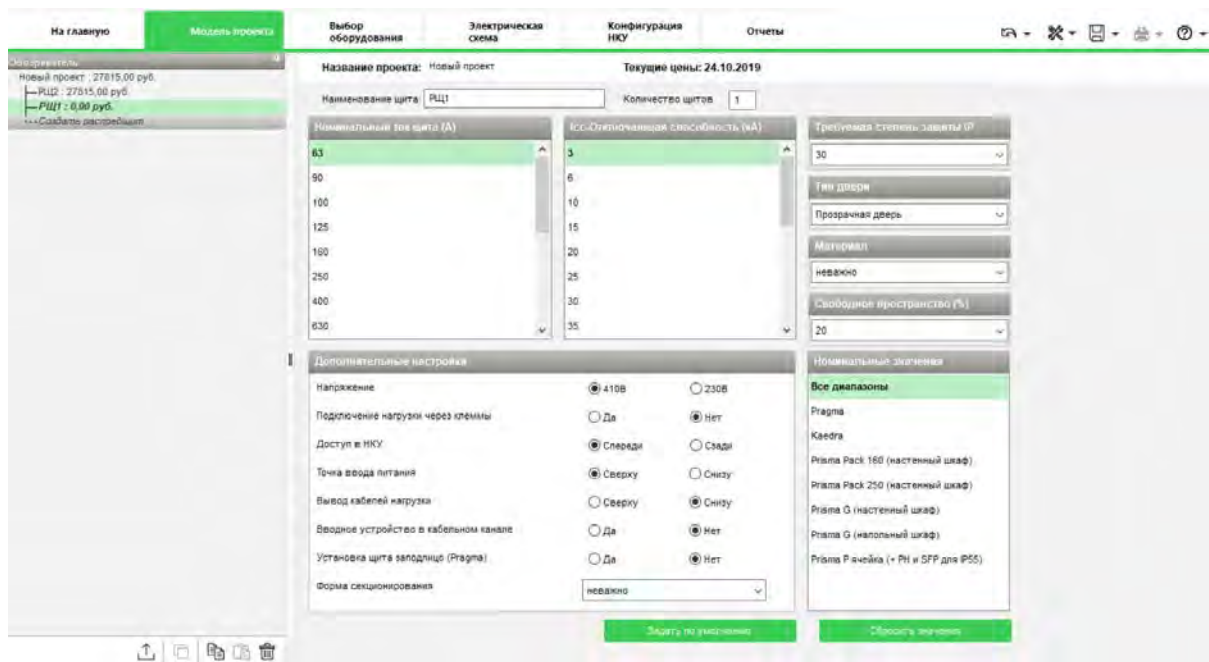


Рис. 3.11. Зображення вкладки «Модель проекта» для налаштування параметрів розподільного щита РЩ1

Виконавши аналогічні попереднім (РЩ2) дії з вибору обладнання на вкладці «Вибір обладнання»:

для вводу РЩ2 – Acti9 iC60N C10A/4P4d – 1 шт

для лінії «Розетки» – Acti9 iC60N Vigi iC60 C3A/4P4d 30 мА – 1 шт

для вводу РЩ1 – Acti9 iC60N C16A/4P4d – 1 шт (у зв'язку із відсутністю номіналу C13A у каталозі програми Rapsody, вибираємо наступний більший за C13A номінал автоматичного вимикача, а саме C16A).

У вкладці «Електрична схема» проводимо розміщення автоматичних вимикачів у порядку, як це зображено на схемі рис. 3.5. Тоді однолінійна електрична схема у програмі Rapsody матиме вигляд, як це зображено на рис. 3.12.

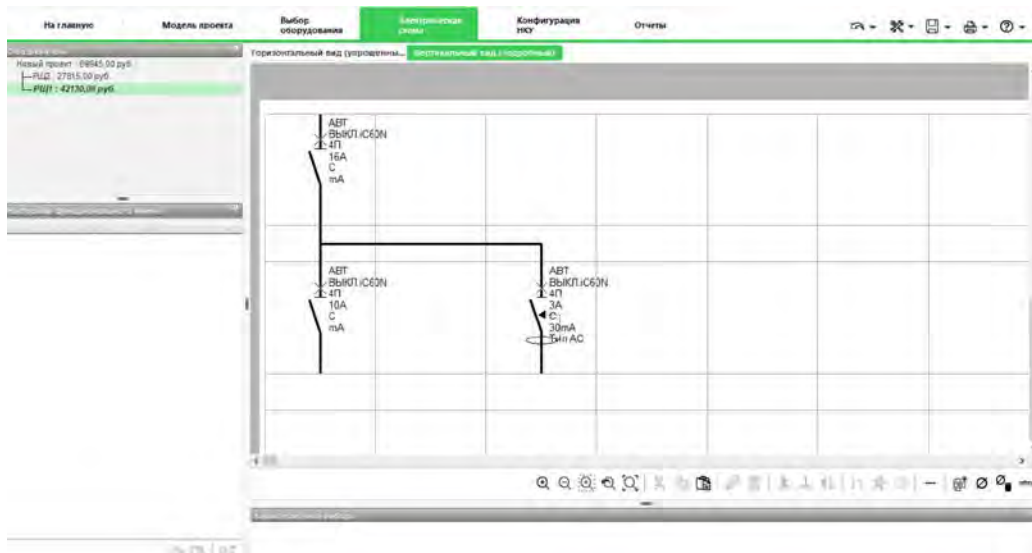


Рис. 3.12. Зображення вкладки «Электрическая схема» для розподільного щита РЩ1

Відредагувавши параметри розподільного щита РЩ1 у вкладці «Электрическая схема» та вкладці «Конфигурация НКУ», відповідно до напівавтоматичного режиму компоновання, як це було зроблено для розподільного щита РЩ2.

Результат проектування розподільного щита РЩ1 із додатковим редагуванням, а саме нанесеним другим зображенням на одну вкладку зображено на рис. 3.13.

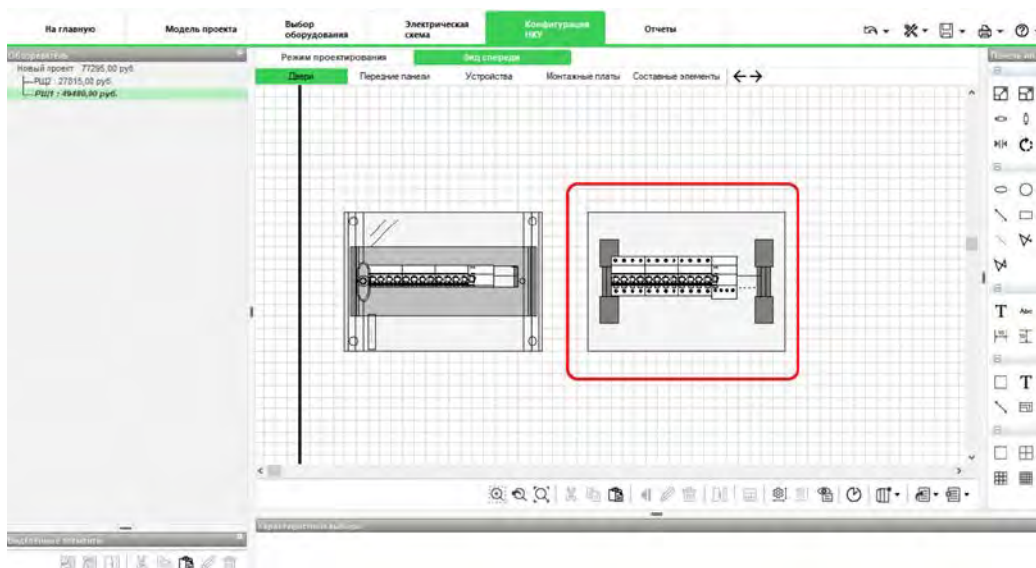


Рис. 3.13. Вид спереду розподільного щита РЩ1 отриманого у результаті проектування (вид із прозорою панеллю та без панелі).

### 3.5. Приклад оформлення результатів

Для завершення виконаної лабораторної роботи оформляємо результати розрахунку і вибору електрообладнання на окремій сторінці.

### Лабораторна робота № 3

Дисципліна \_\_\_\_\_

Група \_\_\_\_\_

ПІБ \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_

#### ВАРІАНТ 1

Таблиця 1

#### Вихідні дані

Вид навантаження	$P_n$ , кВт	$\cos \varphi$	$K_p$ ( $K_u$ )	L, м
Ргр (розеточна група)	1,5	0,85	1,0	10
НЛ1 (група освітлення)	0,5	0,92	1,0	10
Т1 (Електрообігрівач)	2,0	1,0	1,0	10
К1 (Кондиціонер)	3,0	0,9	1,0	10

#### Результати розрахунку

Згідно пункту 3.32 ДБН, «розрахункове навантаження ліній живлення і вводів у робочому та післяаварійному режимах при спільному живленні силових електроприймачів і освітлення  $P_{заг}$ :

$$P_{заг} = K(P_{ос} + P_{ел.с} + P_{хк} \cdot K_1) = 1 \cdot (0,5 + 3,5 + 3,0 \cdot 0,8) = 6,4 \text{ кВт.}$$

Трифазний робочий струм електричної мережі:

$$I_p = \frac{P_{заг}}{\sqrt{3}U_n \cos \varphi} = \frac{6,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9} = 10,8 \text{ А}$$

Порівнюємо розрахований згідно рівнянь трифазний робочий струм електричної мережі  $I_p=10,8$  А з розрахунковим значенням отриманим в результаті комп'ютерного розрахунку  $I_p=11$  А.

Автоматичний вимикач відповідає попередньому комп'ютерному розрахунку та вибору, а саме **автоматичному вимикачу вводу марки Acti9 IC60N C 13A/4P4d.**

У зв'язку із відсутністю номіналу С13А у каталозі програми Rapsody, вибираємо для компоновки розподільного щита РЩ1 наступний більший за С13А номінал автоматичного вимикача, а саме С16А. Тоді вибраний **автоматичний вимикач вводу - Acti9 IC60N C 16A/4P4d.**

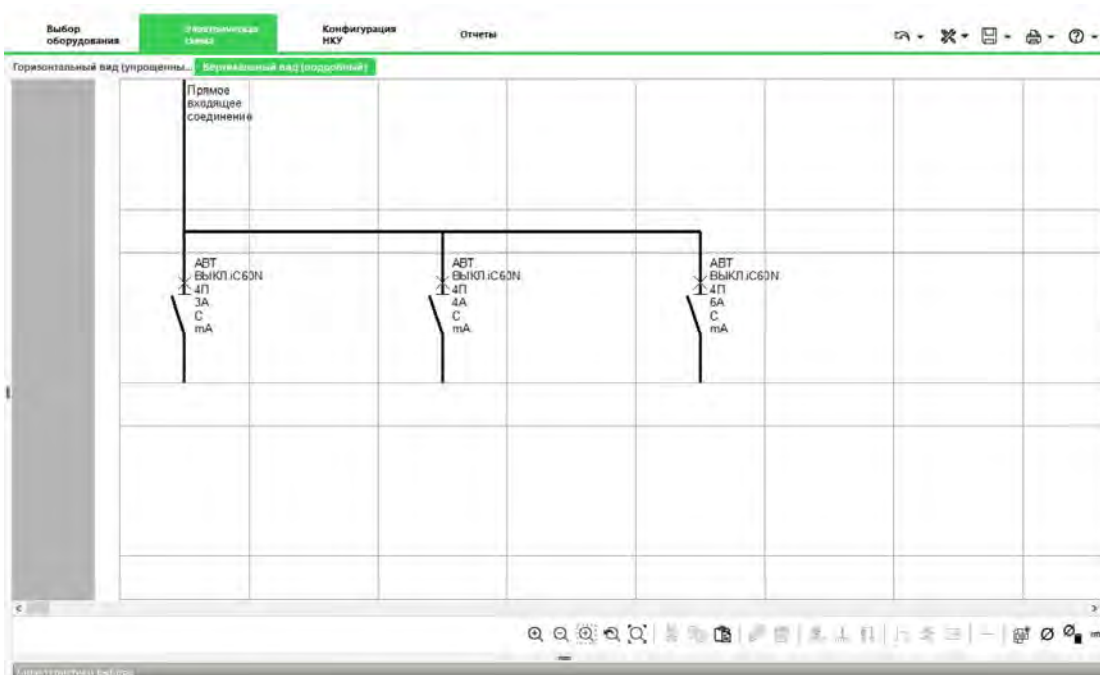


Рис. 1. Зображення вкладки «Електрична схема» для розподільного щита РЩ2

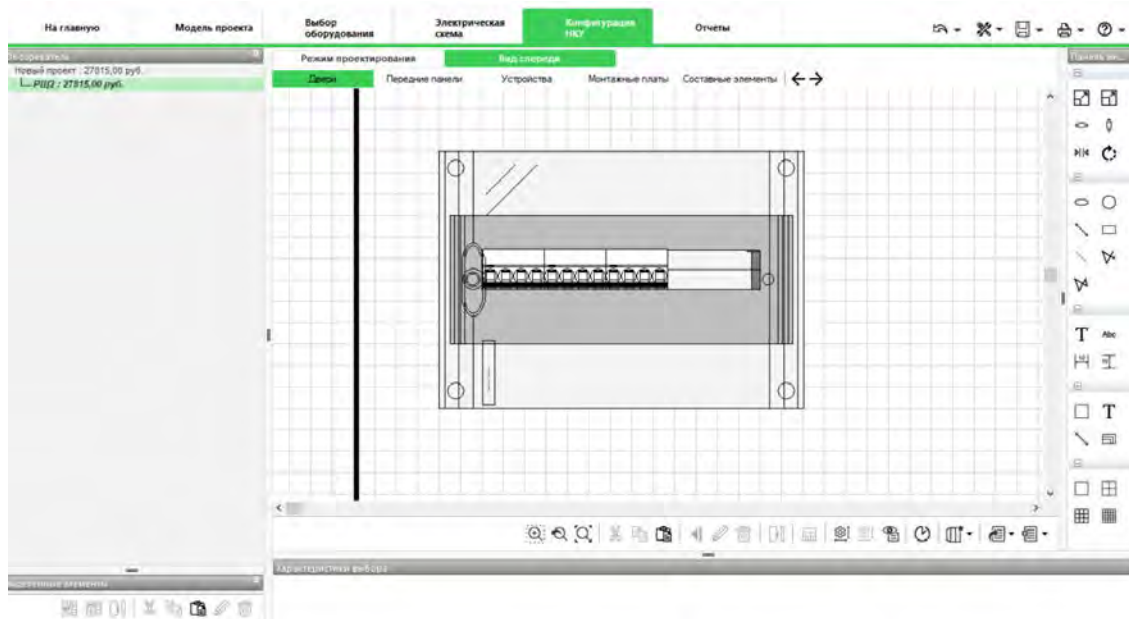


Рис. 2. Вид спереду розподільного щита РЩ2 отриманого у результаті проектування.

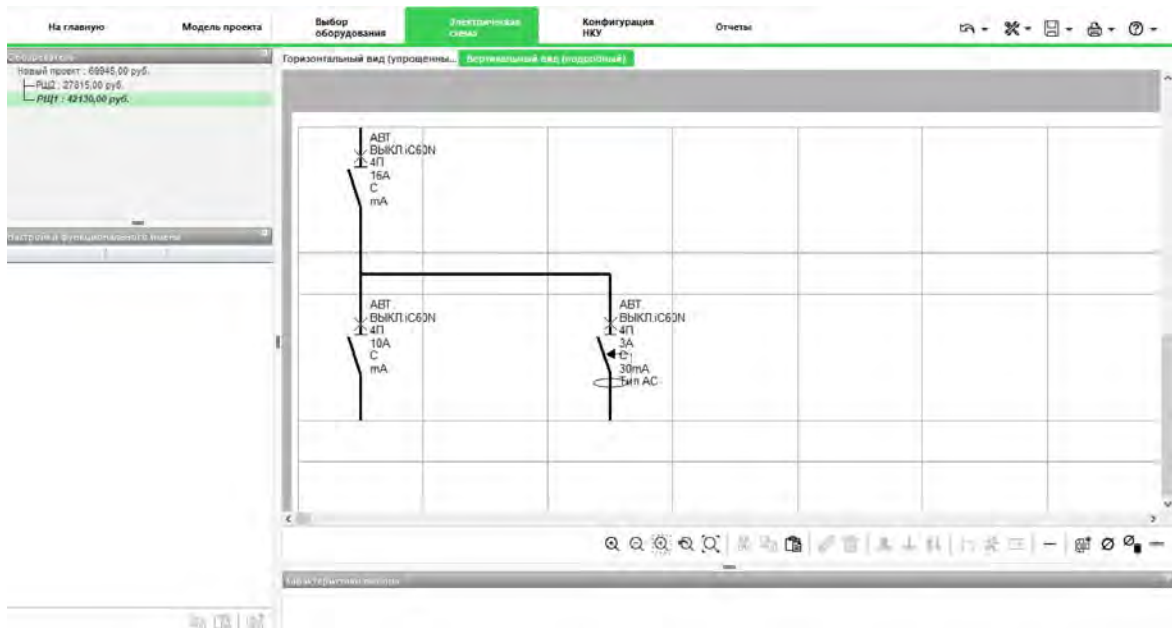


Рис. 3. Зображення вкладки «Електрична схема» для розподільного щита РЩ1

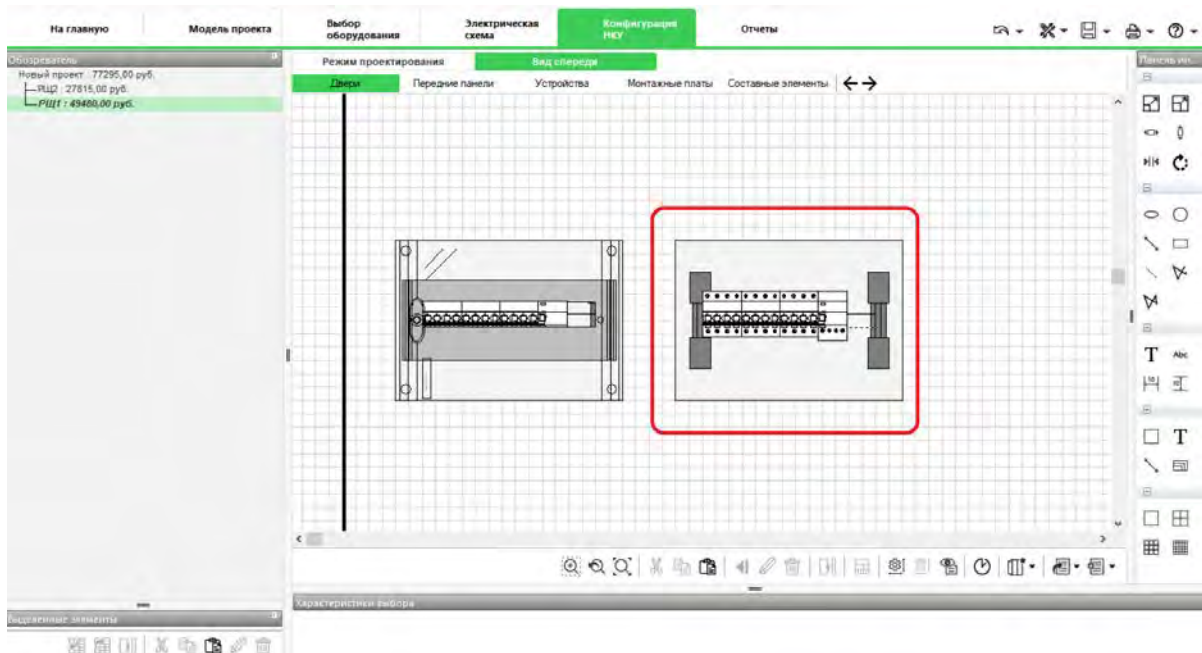


Рис. 4. Вид спереду розподільного щита РЩ1 отриманого у результаті проектування (вид із прозорою панеллю та без панелі).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

### Проектування трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ

#### (використання програмного комплексу)

#### 4.1. Мета та завдання

**Мета:** навчитися розраховувати потужність силових трансформаторів, вибирати їх кількість, тип та отримати практичний досвід роботи з різними методиками розрахунків.

#### **Завдання:**

1. Скласти однолінійну електричну схему трансформаторної підстанції у програмному комплексі Ecodial.

2. Розрахувати потужність силового(их) трансформатора(ів) в залежності від категорії надійності електропостачання та навантаження споживачів у програмному комплексі Ecodial та вибрати його марку із каталогу. Оформити результати процесу виконаного розрахунку.

3. Розрахувати потужність силового(их) трансформатора(ів) в залежності від категорії надійності електропостачання та навантаження споживачів згідно вимог ДБН В.2.5-23:2010 та вибрати його марку із каталогу. Оформити результати процесу виконаного розрахунку.

4. Визначити параметри автоматичного вимикача для захисту силового трансформатора підстанції 10/0,4 кВ, та вибрати його марку. Оформити результати процесу виконаного розрахунку.

5. Оформити результати виконаної роботи відповідно свого варіанту для перевірки.

#### 4.2. Скласти однолінійну електричну схему трансформаторної підстанції.

Випишуємо завдання згідно свого варіанту. Вихідні дані у табл. 4.1, а схема для розрахунку зображена на рис. 4.1.

Таблиця 4.1

## Випи́семо дані навантаження груп згідно свого варіанту

Варіант №	Будівля 1				Будівля 2				Будівля 3				Будівля 1				L, м
	$P_n$ , кВт	к.н.е.	K (Ku)	$\cos \varphi$	$P_n$ , кВт	к.н.е.	K (Ku)	$\cos \varphi$	$P_n$ , кВт	к.н.е.	K (Ku)	$\cos \varphi$	$P_n$ , кВт	к.н.е.	K (Ku)	$\cos \varphi$	
1	60				40				150				120				5
	Житловий 8-ми квартирний будинок з електроплитами				Житловий будинок з газовими плитами				Школа без харчоблока до 200 осіб				Готель без ресторану до 200 осіб				
	Технологія виготовлення силового трансформатора: Mineral oil																

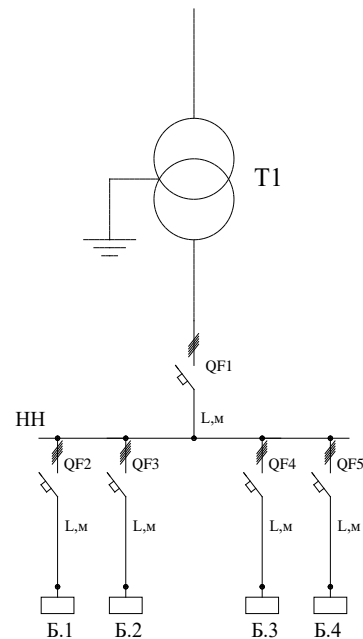


Рис. 4.1. Спрощена однолінійна електрична схема секції низької напруги трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ

Розпочинати розрахунок потужності силового(их) трансформатора(ів) можна, як розрахунком у програмному комплексі *Ecodial*, так і розрахунком згідно держаних будівельних норм.

Згідно отриманого досвіду у процесі виконання лабораторних робіт 1, 2 і 3 складаємо однолінійну електричну схему секції низької напруги трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ. Задаємо потужності навантаження згідно варіанту. Електрична схема виконана в програмі *Ecodial* з проведеним розрахунком (Calculate project), що відповідає завданню зображена на рис. 4.2.

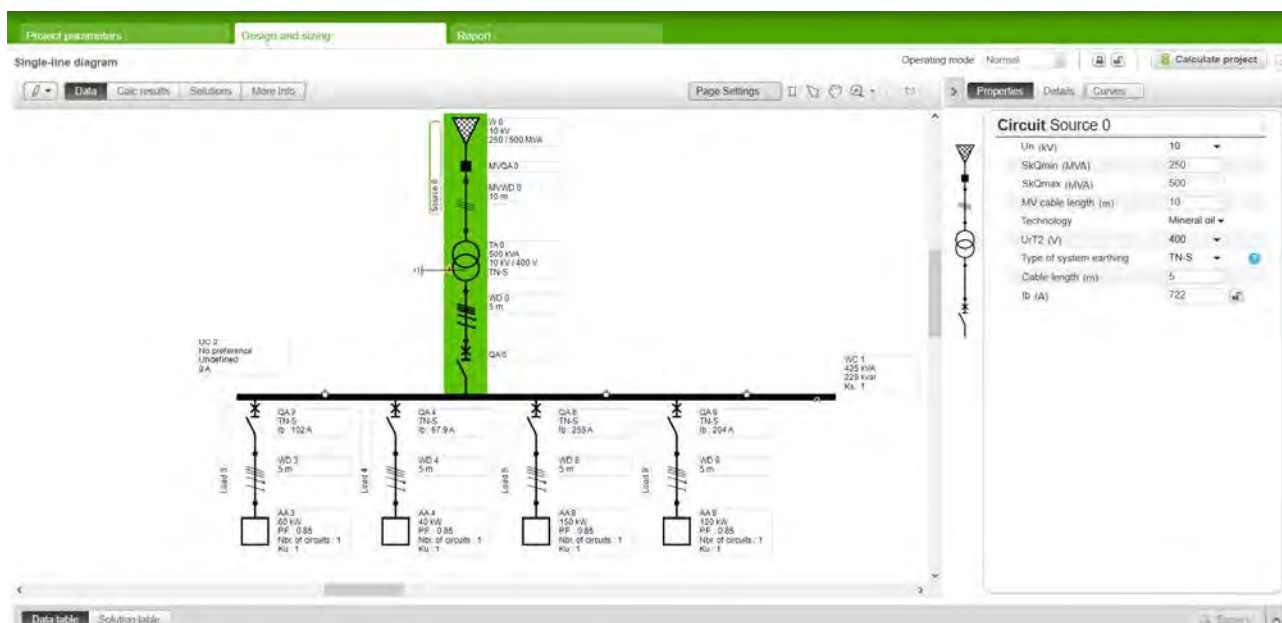


Рис. 4.2. Однолінійна електрична схема у програмі *Ecodial*.

**4.3. Порядок розрахунку потужності силового(их) трансформатора(ів) в залежності від категорії надійності електропостачання та навантаження споживачів з використанням програмного комплексу та вибір марки із каталогу.**

Відповідно до державних будівельних норм ДБН В.2.5-23:2010 з розділу 2 «Електропостачання та заходи з енергозбереження» таблиці 2.1

виписуємо категорію надійності електропостачання (к.н.е.) будівель із завдання. Результати записуємо у колонку (к.н.е.) таблиці 4.2 лабораторної роботи 4.

Продовжуємо визначати дані будівель, а саме коефіцієнти участі в максимумі навантаження. При чому визначати даний коефіцієнт не потрібно для споживача (будівлі), що має найбільшу (максимальну) потужність. Для визначення використовуємо табл. 3.14 ДБН В.2.5-23:2010, а результати записуємо до табл. 4.2 лабораторної роботи 4.

Наступна дія полягає у визначенні  $\cos \varphi$  кожної будівлі. Визначити  $\cos \varphi$  можна використавши таблицю орієнтовних питомих розрахункових навантажень будинків та споруд (табл. 3.15 ДБН В.2.5-23:2010). Результати визначення  $\cos \varphi$  запишемо у табл. 2 лабораторної роботи 4.

Так як, усі споживачі мають III категорію надійності електропостачання використовуємо для підключення одноструматорну підстанцію.

Визначені параметри для розрахунку потужності силового трансформатора трансформаторної підстанції вносимо у розрахункову модель програми Ecodial. Після цього проводимо розрахунок натиснувши «Calculate project». Результат такого розрахунку із внесеними параметрами, зображено на рис. 4.3.

Таблиця 4.2

## Навантаження груп згідно варіанту

Варіант №	Будівля 1				Будівля 2				Будівля 3				Будівля 1				L, м
	$P_n$ , кВт	к.н.е.	$K$ ( $K_u$ )	$\cos \varphi$	$P_n$ , кВт	к.н.е.	$K$ ( $K_u$ )	$\cos \varphi$	$P_n$ , кВт	к.н.е.	$K$ ( $K_u$ )	$\cos \varphi$	$P_n$ , кВт	к.н.е.	$K$ ( $K_u$ )	$\cos \varphi$	
1	60	III	0,5	0,85	40	III	0,4	0,85	150	III	-	0,95	120	III	0,7	0,85	5
	Житловий 8-ми квартирний будинок з електроплитами				Житловий будинок з газовими плитами				Школа без харчоблока до 200 осіб				Готель без ресторану до 200 осіб				
	Технологія виготовлення силового трансформатора: Mineral oil																

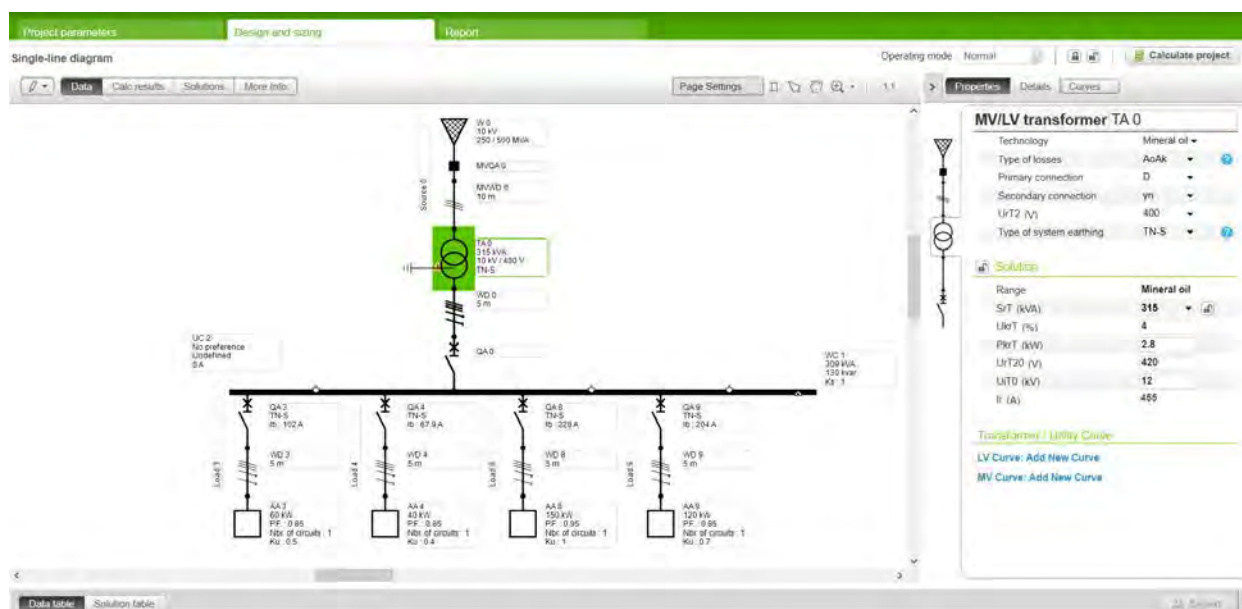


Рис. 4.3. Зображення результату розрахунку потужності силового трансформатора для групи будівель в програмі Ecodial.

Згідно проведеного розрахунку, визначена потужність навантаження:  
 повна потужність  $S_p=309$  кВА,  
 реактивна потужність  $Q_p=130$  квар,  
 активна потужність  $P_p=280$  кВт).

У зв'язку з тим, що у каталозі відсутній номінал масляного силового трансформатора на 315 кВА, вибираємо наступний за потужністю 400 кВА. Після цього вносимо зміни у програмі Escodial та виконуємо розрахунок, результат зображено на рис. 4.4.

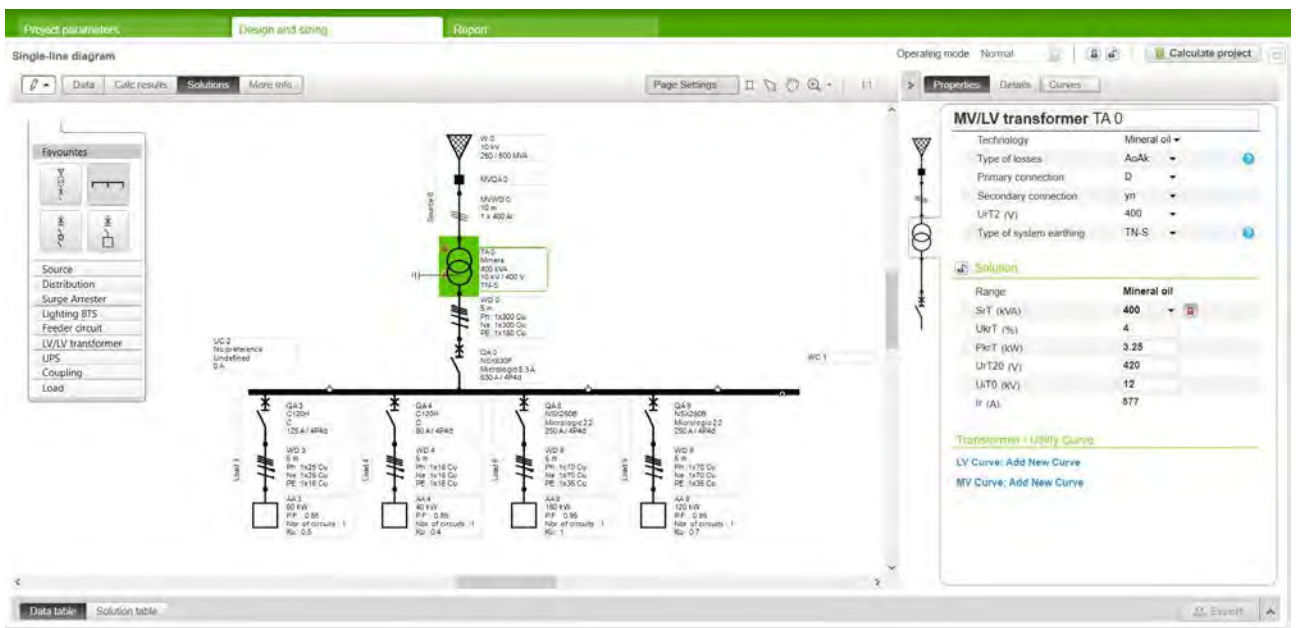


Рис. 4.4. Зображення результату розрахунку із трансформатором потужністю 400 кВА у програмі Escodial.

Для забезпечення електропостачання потужності навантаження  $S_p=309$  кВА III категорії надійності електропостачання із каталогу [9, 10] вибрано масляний силовий трансформатор 10/0,4 кВ марки **ТМ-400/10-УХЛ1** з номінальною потужністю  $S_{н.т.} = 400$  кВА, з номінальним струмом  $I_n = 577$  А. Захист силового трансформатора забезпечується автоматичним вимикачем марки **NSX630F Micrologic 5.3A 630A 36kA 4P4d**, рис. 4.5.

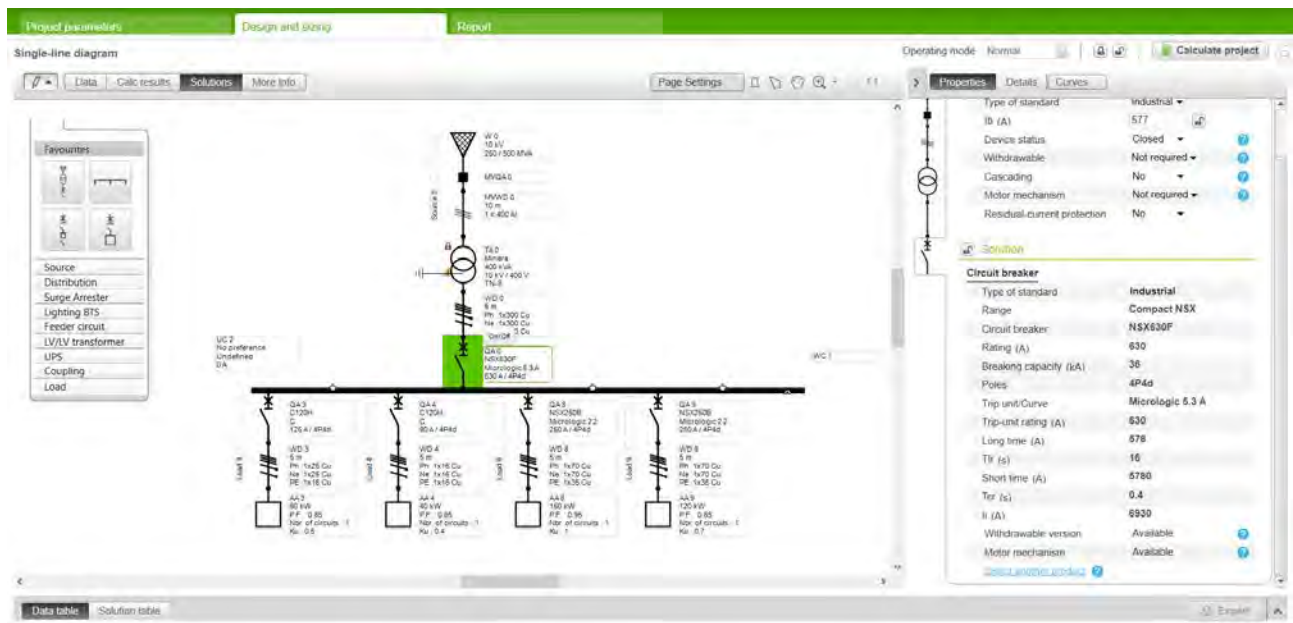


Рис. 4.5. Зображення результату вибору автоматичного вимикача для захисту силового трансформатора в програмі Esodial.

Проведемо перевірку вибраної потужності силового трансформатора у програмі Esodial із розрахунком згідно ДБН В.2.5-23:2010. Для цього виконаємо розрахунок навантаження лінії живлення ТП при спільному електропостачанні цивільних та житлових будівель різного призначення  $P_{бц}$  за формулою:

$$P_{бц} = P_{бmax} + P_{б1} \cdot K_1 + P_{б2} \cdot K_2 + P_{бn} \cdot K_n, \text{ кВт}$$

де  $P_{бmax}$  – найбільше з навантажень будівель (приміщень), що живляться лінією ТП, кВт;

$P_{б1} \dots P_{бn}$  – розрахункові навантаження всіх інших будівель (приміщень), крім будинку, що має найбільше навантаження, які живляться лінією ТП, кВт;

$K_1, K_2 \dots K_n$  – коефіцієнти, що враховують частку електричних навантажень будівель (приміщень) громадського призначення і житлових будинків у найбільшому розрахунковому навантаженні  $P_{бmax}$ , прийняті за таблицею 3.14 ДБН В.2.5-23:2010.

Треба звернути увагу на те, що згідно таблиці 4.2, визначаємо будівлю з найбільшим навантаженням (це будівля 3, з потужністю  $P_n = 150$  кВт). Після цього присвоюємо потужність будівлі 3  $P_{бmax3} = 150$  кВт. Потужності інших будівель  $P_{б1}, P_{б2}, P_{б3}$  з меншою одиничною величиною від  $P_{бmax3}$  необхідно множити на коефіцієнт участі в максимумі навантаження. Отже, підставивши дані з таблиці 4.2 у формулу, отримаємо:

$$\begin{aligned} P_{бц} &= P_{бmax3} + P_{б1} \cdot K_1 + P_{б2} \cdot K_2 + P_{б4} \cdot K_4 = \\ &= 150 + 60 \cdot 0,5 + 40 \cdot 0,4 + 120 \cdot 0,7 = 280 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Для розрахунку номінальної потужності силового трансформатора використаємо формулу:

$$S_{н.т.} \geq S_{н.т.р.} = \frac{P_p}{n_t \cdot \beta_t}, \text{ кВА}$$

де  $S_{н.т.р.}$  – повна номінальна розрахункова потужність трансформатора, кВА;

$P_p$  – розрахункова активна потужність (навантаження споживачів), кВт;

$n_t$  – кількість трансформаторів підстанції;

$\beta_t$  – коефіцієнт завантаження трансформаторів підстанції.

Рекомендовано приймати такі коефіцієнти завантаження трансформаторів:

1)  $\beta_t = 0,65..0,7$  – за перевагою електроспоживачів I-ї категорії надійності електропостачання для двотрансформаторних підстанцій;

2)  $\beta_t = 0,7..0,8$  – за перевагою електроспоживачів II-ї категорії надійності електропостачання для однострансформаторних підстанцій із взаємним резервуванням трансформаторів на стороні низької напруги;

3)  $\beta_t = 0,9..0,95$  – за перевагою електроспоживачів III-ї категорії надійності електропостачання для однострансформаторних підстанцій у разі наявності складського резерву, а також для електроспоживачів 3-ї категорії надійності електропостачання.

Так як, електроспоживачі згідно варіанту мають III категорію надійності електропостачання, то приймаємо коефіцієнт завантаження трансформатора рівним  $\beta_T = 0,9$ , а кількість трансформаторів  $n_T = 1$  шт.

Підставивши визначені параметри у формулу, отримаємо:

$$S_{н.т.р.} = \frac{P_p}{n_T \cdot \beta_T} = \frac{280}{1 \cdot 0,9} = 311,1 \text{ кВА}$$

Порівняємо отримані значення потужності навантаження електроспоживачів, що отримані у результаті комп'ютерного і алгебраїчного розрахунку. Отже, в результаті комп'ютерного розрахунку ми отримали потужність навантаження електроспоживачів  $S_p = 309$  кВА, а в результаті алгебраїчного розрахунку -  $S_{н.т.р.} = 311,1$  кВА.

Підставляємо найбільшу отриману із двох розрахункових потужностей в умову вибору номінальної потужності трансформатора:

$$S_{н.т.} = 400 \text{ кВА} \geq S_{н.т.р.} = 311,1 \text{ кВА.}$$

Отже, для підстанції 10/0,4 кВ вибираємо номінальну потужність силового трансформатора  $S_{н.т.} = 400$  кВА.

Визначаємо номінальний струм за формулою:

$$I_{н.т.} = \frac{S_{н.т.}}{\sqrt{3} \cdot U_{н.т.}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 577 \text{ А}$$

З урахуванням отриманого досвіду вибору апаратів захисту, під час виконання лабораторних робіт 1..3, для захисту силового трансформатора марки **ТМ-400/10-УХЛ1** вибираємо автоматичний вимикач марки з  $I_p = 578 \text{ А}$ , **NSX630F Micrologic 5.3A 630A 36kA 4P4d**.

#### 4.4. Приклад оформлення результатів

Для завершення виконаної лабораторної роботи 4 оформлюємо результати розрахунку потужності та кількості трансформаторів на підстанції, а також вибору автоматичного вимикача для захисту силового трансформатора на окремій сторінці.

## Лабораторна робота № 4

Дисципліна \_\_\_\_\_  
 Група \_\_\_\_\_  
 ПІБ \_\_\_\_\_  
 Дата \_\_\_\_\_

### ВАРІАНТ 1

Розрахувати потужність силового(их) трансформатора(ів), вибрати їх кількість, тип та отримати практичний досвід роботи з різними методиками розрахунків. Виконати розрахунки в програмі Ecodial та згідно вимог ДБН В.2.5-23:2010. Вихідні дані у табл. 1, а схема для розрахунку зображена на рис. 1.

Таблиця 1

**Вихідні дані**

Варіант №	Будівля 1				Будівля 2				Будівля 3				Будівля 1				L, м
	$P_{max}$ кВт	к.н.е.	K (Ku)	$\cos \varphi$	$P_{max}$ кВт	к.н.е.	K (Ku)	$\cos \varphi$	$P_{max}$ кВт	к.н.е.	K (Ku)	$\cos \varphi$	$P_{max}$ кВт	к.н.е.	K (Ku)	$\cos \varphi$	
1	60				40				150				120				5
	Житловий 8-ми квартирний будинок з електроплитами				Житловий будинок з газовими плитами				Школа без харчоблока до 200 осіб				Готель без ресторану до 200 осіб				
Технологія виготовлення силового трансформатора: Mineral oil																	

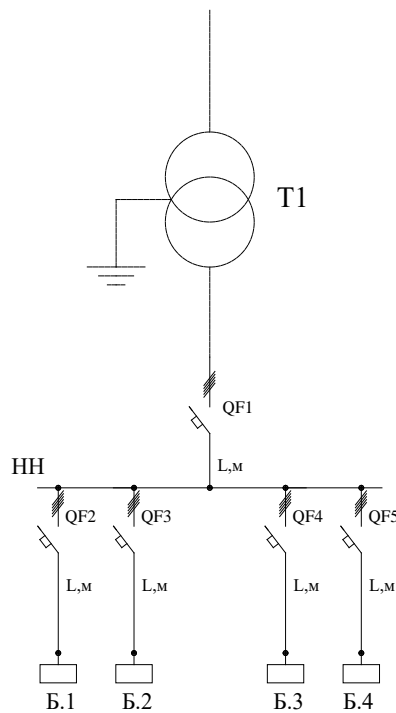


Рис. 1. Спрощена однолінійна електрична схема секції низької напруги трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ  
**Результати розрахунку**

Таблиця 2

## Навантаження груп згідно варіанту

Варіант №	Будівля 1				Будівля 2				Будівля 3				Будівля 1				L, м
	$P_{\Sigma}$ кВт	$\cos \varphi$	K (Ku)	$\cos \varphi$	$P_{\Sigma}$ кВт	$\cos \varphi$	K (Ku)	$\cos \varphi$	$P_{\Sigma}$ кВт	$\cos \varphi$	K (Ku)	$\cos \varphi$	$P_{\Sigma}$ кВт	$\cos \varphi$	K (Ku)	$\cos \varphi$	
1	60	III	0,5	0,85	40	III	0,4	0,85	150	III	-	0,95	120	III	0,7	0,85	5
	Житловий 8-ми квартирний будинок з електроплитами				Житловий будинок з газовими плитами				Школа без харчоблока до 200 осіб				Готель без ресторану до 200 осіб				
Технологія виготовлення силового трансформатора: Mineral oil																	

Розрахунок навантаження лінії живлення ТП при спільному електропостачанні цивільних та житлових будівель різного призначення  $P_{\text{бц}}$  за формулою:

$$P_{\text{бц}} = P_{\text{бmax3}} + P_{\text{б1}} \cdot K_1 + P_{\text{б2}} \cdot K_2 + P_{\text{б4}} \cdot K_4 =$$

$$= 150 + 60 \cdot 0,5 + 40 \cdot 0,4 + 120 \cdot 0,7 = 280 \text{ кВт}$$

Для розрахунку номінальної потужності силового трансформатора використаємо формулу:

$$S_{\text{н.т.р.}} = \frac{P_p}{n_t \cdot \beta_t} = \frac{280}{1 \cdot 0,9} = 311,1 \text{ кВА}$$

Порівняємо отримані значення потужності навантаження електроспоживачів, що отримані у результаті комп'ютерного і алгебраїчного розрахунку. Отже, в результаті комп'ютерного розрахунку ми отримали потужність навантаження електроспоживачів  $S_p=309$  кВА, а в результаті алгебраїчного розрахунку -  $S_{\text{н.т.р.}} = 311,1$  кВА.

Підставляємо найбільшу отриману із двох розрахункових потужностей в умову вибору номінальної потужності трансформатора:

$$S_{\text{н.т.}} = 400 \text{ кВА} \geq S_{\text{н.т.р.}} = 311,1 \text{ кВА.}$$

Отже, для підстанції 10/0,4 кВ вибираємо із каталогу силовий трансформатор марки **ТМ-400/10-УХЛ1** з номінальною потужністю  $S_{\text{н.т.}} = 400$  кВА.

Визначаємо номінальний струм за формулою:

$$I_{\text{н.т.}} = \frac{S_{\text{н.т.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н.т.}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 577 \text{ А}$$

З урахуванням отриманого досвіду вибору апаратів захисту, під час виконання лабораторних робіт 1..3, для захисту силового трансформатора вибираємо автоматичний вимикач марки з  $I_p = 578$  А, **NSX630F Micrologic 5.3A 630A 36kA 4P4d**.

Шляхом комп'ютерного розрахунку здійснено перевірку вибору масляного силового трансформатора на напругу 10/0,4 кВ з номінальною потужністю  $S_N = 400$  кВА, з номінальним струмом  $I_n = 577$  А, що відображено на рис. 1.

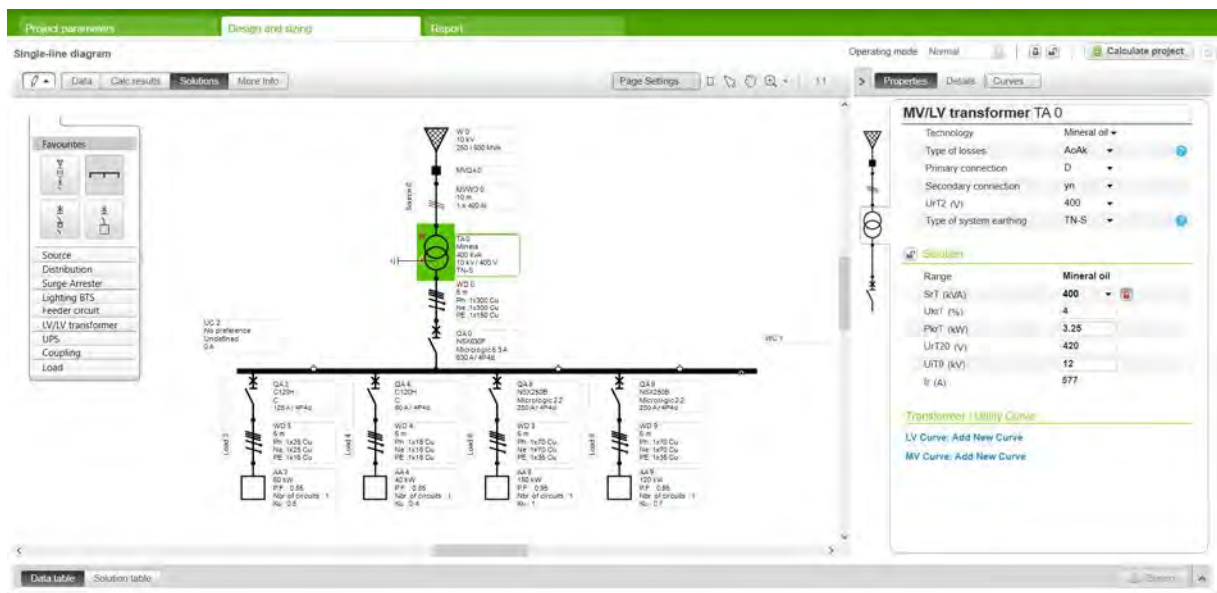


Рис. 1. Зображення результату розрахунку потужності силового трансформатора для групи будівель в програмі Ecodial.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5

### Розрахунок та вибір потужності конденсаторних установок для трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ (використання програмного комплексу)

#### 5.1. Мета та завдання

**Мета:** навчитися розраховувати потужність конденсаторних установок для трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ, вибирати їх кількість, тип та отримати практичний досвід роботи з різними методиками розрахунків.

#### **Завдання:**

1. Для розрахунку у програмі Ecodial використати однолінійну електричну схему трансформаторної підстанції із лабораторної роботи 4.
2. Розрахувати максимальну реактивну потужність, яку доцільно передавати через трансформатор 10/0,4 кВ номінальною напругою до 1 кВ. Оформити результати процесу виконаного розрахунку.
3. Розрахувати реактивну потужність та вибрати конденсаторну установку, яка забезпечить необхідне значення коефіцієнта потужності ( $\cos \phi$ ). Оформити результати процесу виконаного розрахунку.
4. Скласти розрахункову однолінійну схему з конденсаторною установкою у програмі Ecodial, розрахувати реактивну потужність та вибрати марку із каталогу. Оформити результати процесу виконаного розрахунку.
5. Оформити результати виконаної роботи відповідно свого варіанту для перевірки.

## 5.2. Короткі теоретичні відомості

Значення коефіцієнту потужності ( $\cos \varphi$ ) є показником якості проектування енергетичного об'єкту. Показник  $\cos \varphi$  може змінюватися від 0 до 1, і визначається за формулою:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Для підвищення  $\cos \varphi$  встановлюють конденсаторні установки. Це дозволяє споживачам зменшувати витрати на електроенергію за рахунок підтримання споживання реактивної потужності нижче значення, погодженого в договорі з поставником електроенергії.

Також, підвищення  $\cos \varphi$  дозволяє зменшити номінальні значення потужності трансформаторів, розподільних пристроїв, кабелів, а крім зменшення втрат потужності, також обмежити втрати напруги.

При збільшенні навантаження на шинах трансформаторної підстанції, встановлення конденсаторної установки дозволяє відтермінувати необхідність заміни трансформатора. Тобто компенсація дозволяє підвищити пропускну здатність.

У програмі Ecodial підвищити  $\cos \varphi$  можна використовуючи блок конденсаторів, що є джерелом реактивної потужності. Такий блок забезпечує компенсацію реактивної потужності.

## 5.3. Порядок розрахунку максимальної реактивної потужності, яку доцільно передавати через трансформатор 10/0,4 кВ номінальною напругою до 1 кВ

Виписуємо завдання згідно свого варіанту. Вихідні дані у табл. 5.1, а схема для розрахунку зображена на рис. 5.1.

Таблиця 5.1

## Навантаження груп згідно варіанту

Варіант №	Будівля 1				Будівля 2				Будівля 3				Будівля 1				L, м
	Р <sub>я</sub> , кВт	Б.Н.Є.	К (Ku)	cos φ	Р <sub>я</sub> , кВт	Б.Н.Є.	К (Ku)	cos φ	Р <sub>я</sub> , кВт	Б.Н.Є.	К (Ku)	cos φ	Р <sub>я</sub> , кВт	Б.Н.Є.	К (Ku)	cos φ	
1	60	III	0,5	0,85	40	III	0,4	0,85	150	III	-	0,95	120	III	0,7	0,85	5
	Житловий 8-ми квартирний будинок з електроплитами				Житловий будинок з газовими плитами				Школа без харчоблока до 200 осіб				Готель без ресторану до 200 осіб				
Технологія виготовлення силового трансформатора: Mineral oil																	

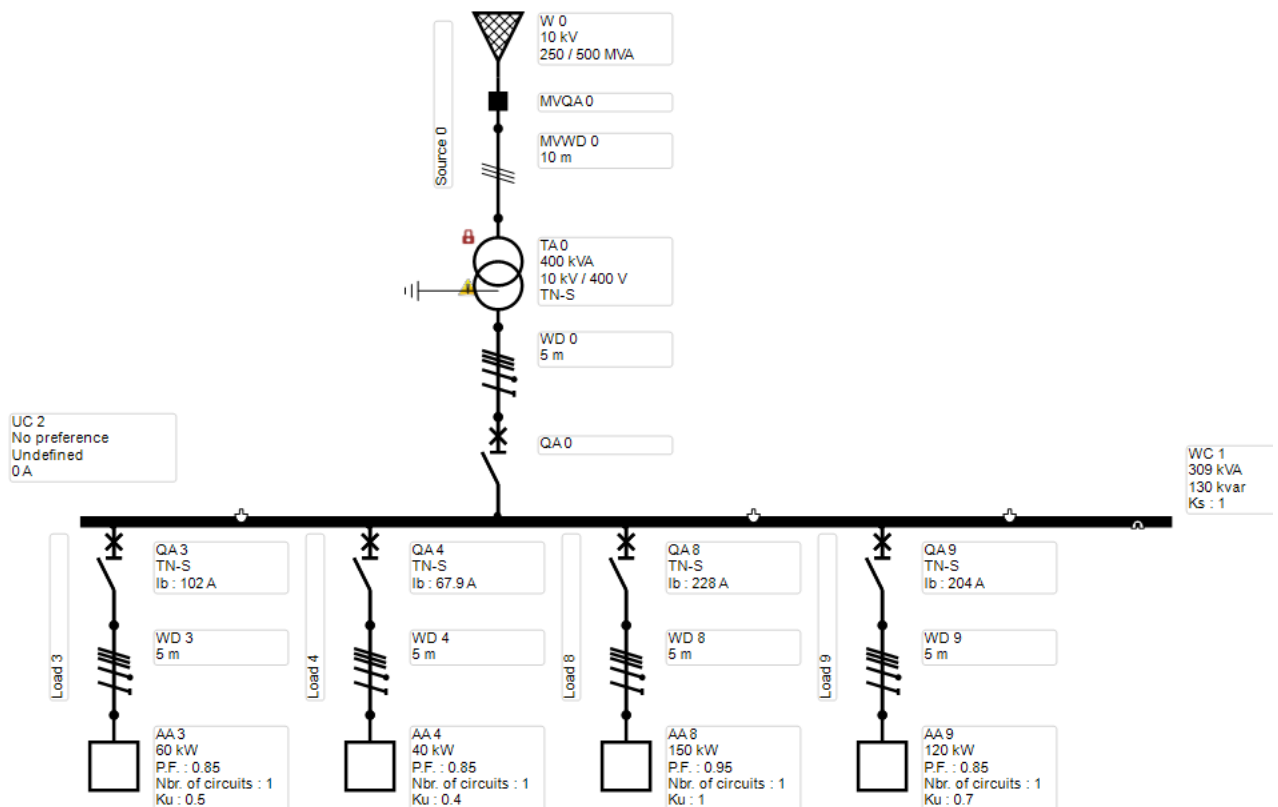


Рис. 5.1. Зображення результату розрахунку потужності силового трансформатора для групи будівель в програмі Ecodial.

Далі розглянемо варіанти розрахунку для однострансформаторної та двотрансформаторної підстанцій.

*Виконаємо розрахунок для однострансформаторної підстанції.*

Визначаємо максимальну реактивну потужність, яку доцільно передавати через трансформатор 10/0,4 кВ у мережу напругою до 1 кВ для забезпечення бажаного коефіцієнта завантаження  $\beta_T$ :

$$Q_T = \sqrt{(n_T \cdot \beta_T \cdot S_{н.т.})^2 - P_p^2}, \text{ квар}$$
$$Q_T = \sqrt{(1 \cdot 0,9 \cdot 400)^2 - 280^2} = 226 \text{ квар}$$

Потрібно відмітити, що якщо під коренем величина зі знаком «мінус», то значення реактивної потужності  $Q_T = 0$ .

Розраховуємо потужність конденсаторної установки із конденсаторами на номінальну напругу до 1 кВ:

$$Q_{КУ} = Q_p - Q_T, \text{ квар}$$
$$Q_{КУ} = 130 - 226 = -96 \text{ квар}$$

Так як значення  $Q_{КУ} = -96$  квар – від'ємне, це означає, що трансформатор пропускає всю необхідну реактивну потужність у мережу напругою до 1 кВ. Тобто встановлювати конденсаторну установку на напругу до 1 кВ не потрібно.

*Розглянемо приклад розрахунку для одотрансформаторної підстанції, на якій потрібно було б встановлювати конденсаторну установку. Для цього змінимо номінальну потужність трансформатора підстанції з 400 кВА на 315 кВА.*

Визначаємо максимальну реактивну потужність, яку доцільно передавати через трансформатор 10/0,4 кВ у мережу напругою до 1 кВ для забезпечення бажаного коефіцієнта завантаження  $\beta_T$ :

$$Q_T = \sqrt{(n_T \cdot \beta_T \cdot S_{н.т.})^2 - P_p^2}, \text{ квар}$$
$$Q_T = \sqrt{(1 \cdot 0,9 \cdot 315)^2 - 280^2} = 44 \text{ квар}$$

Потрібно відмітити, що якщо під коренем величина зі знаком «мінус», то значення реактивної потужності  $Q_T = 0$ .

Розраховуємо потужність конденсаторної установки із конденсаторами на номінальну напругу до 1 кВ:

$$Q_{\text{КУ}} = Q_p - Q_T, \text{ квар}$$

$$Q_{\text{КУ}} = 130 - 44 = 86 \text{ квар}$$

У зв'язку з тим, що трансформатор підстанції не пропускає всю необхідну реактивну потужність у мережу напругою до 1 кВ, то треба встановлювати конденсаторну установку.

Конденсаторна установка вибирається із каталогу і приймається найближча стандартна величина потужності.

#### **5.4. Порядок розрахунку реактивної потужності та вибір конденсаторної установки, яка забезпечить необхідне значення коефіцієнта потужності ( $\cos \varphi$ )**

*Виконаємо розрахунок для однострансформаторної підстанції потужністю 315 кВА за рівняннями та у програмі *Escodial*.*

Так як програма *Escodial* пропонує до вибору два типи конденсаторних установок, а саме статичні для постійної компенсації і автоматичні – відповідно для автоматизованого режиму компенсації. Розглянемо загальні правила на прикладі централізованої компенсації (одна установка для всього навантаження під'єднується до секції шин розподільного пристрою).

Якщо реактивна потужність не перевищує 15% номінальної потужності силового трансформатора, може застосовуватися постійна компенсація. Якщо більше 15%, то рекомендується встановлювати автоматичну конденсаторну установку.

Для розрахунку використаємо розрахункові дані взяті із результатів виконання лабораторної роботи 4 (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

## Розрахункові вихідні параметри

№ варіанту	Sp, кВА	Qp, квар	Pp, кВт	Sn.т., кВА	cos φ рекомендоване
1	309	130	280	400 (315)	0,928

У зв'язку з тим, що електропостачання реактивної енергії здійснюється безкоштовно до точки підключення, в якій її споживання складає менше 40% від споживання активної енергії ( $\text{tg } \varphi = 0,4$ ). Тоді рекомендоване значення коефіцієнта потужності складає  $\text{cos } \varphi = 0,928$ . Саме тому в програмі *Ecodial* за умовчанням рекомендоване значення встановлено  $\text{cos } \varphi = 0,928$ .

Отже, згідно завдання необхідно підібрати конденсаторну установку, що забезпечить підвищення коефіцієнта потужності від 0,907 до 0,928.

У програмі *Ecodial* під'єднаємо блок конденсаторів до секції шин низької напруги 0,4 кВ, як це зображено на рис. 5.2. Також на рис. 5.2 будуть зображені результати розрахунку реактивної потужності конденсаторної установки. Згідно розрахунку реактивна потужність, яку необхідно компенсувати складає  $Q_{\text{downstream}}=17,5$  квар. А реактивна потужність, що впливає на визначення типу використання конденсаторних установок:

$$Q = Q_{\text{upstream}} + Q_{\text{downstream}} = 15,8 + 17,5 = 33,3 \text{ квар.}$$

З каталогу [11] програмою запропоновано вибрати конденсаторну установку автоматичного типу **VarSet** з реактивною потужністю  $Q_{\text{ку}} = 34$  квар, що дозволить підвищити  $\text{cos } \varphi = 0,929$ .

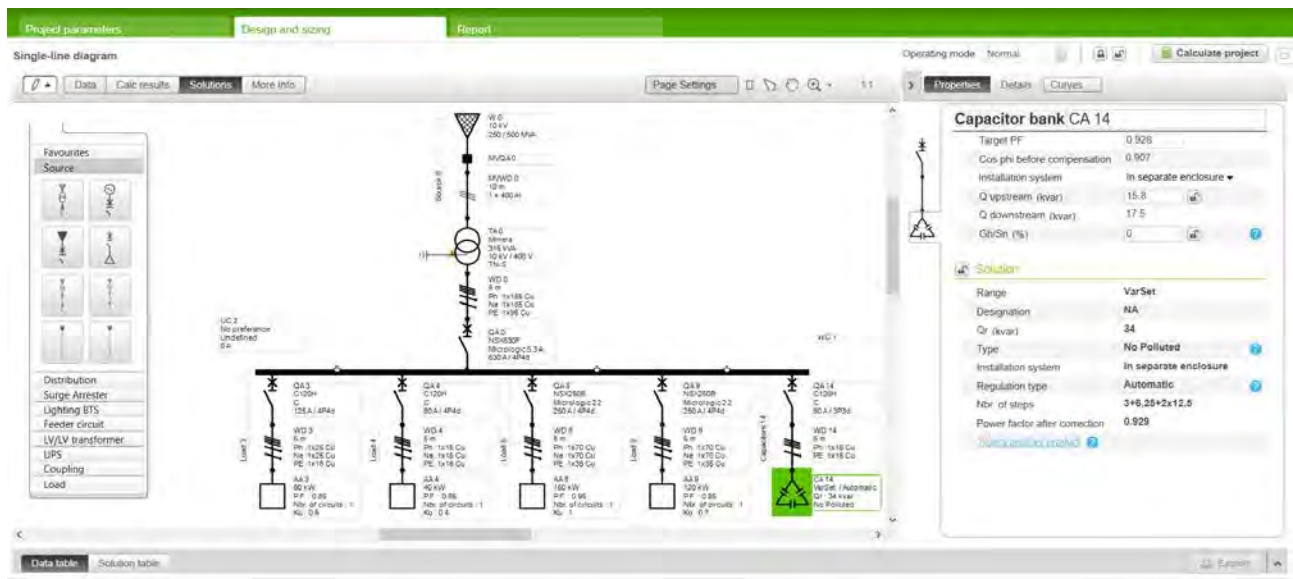


Рис. 5.2. Зображення результату розрахунку реактивної потужності конденсаторної установки в програмі Ecodial.

Виконаємо перевірку проведеного розрахунку в програмі Ecodial.

Для цього визначаємо значення  $tg \varphi_{до}$  (до компенсації) для розрахункового  $\cos \varphi = 0,907$ :

$$tg \varphi_{до} = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi} = 0,464$$

Знаходимо коефіцієнт, що визначає тип використання конденсаторних установок:

$$k = \frac{Q_{upstream} + Q_{downstream}}{S_{н.т.}} \cdot 100\% = \frac{15,8 + 17,5}{315} \cdot 100\% = 10,57\%$$

Значення 10,57% є меншим за 15%, отже можливе застосування конденсаторної установки із фіксованою реактивною потужністю.

Розрахуємо реактивну потужність, яку необхідно компенсувати:

$$Q_{downstream} = P_p (tg \varphi_{до} - tg \varphi_{після}), \text{ квар}$$

$$Q_{downstream} = 280(0,464 - 0,4) = 17,92 \text{ квар},$$

Проаналізуємо отримані дані і зробимо висновок.

Згідно розрахунків за першою частиною лабораторної роботи, рекомендована *максимальна* реактивна потужність, яку доцільно

передавати через трансформатор 10/0,4 кВ у мережу напругою до 1 кВ складає  $Q_{ку} = 86$  квар.

За результатами розрахунків у програмі Escodial необхідне *мінімальне* сумарне значення конденсаторної установки для забезпечення коефіцієнта потужності на рівні не нижче 0,928, складає  $Q_{ку} = 34$  квар.

У зв'язку із тим, що коефіцієнт згідно якого визначають тип використання конденсаторних установок складає 10,57%, що  $\epsilon < 15\%$ , можна вибрати конденсаторну установку із фіксованим значенням реактивної потужності. Проте, наявні у каталозі конденсаторних установок фіксовані значення рівні 32 і 50 квар відповідно. Якщо не враховувати економічну складову вартості конденсаторних установок, то реактивна потужність 32 квар є недостатнім значенням, а 50 квар – завеликим для досягнення величини коефіцієнта потужності 0,928. Але конденсаторні установки мають значну вартість, що впливає на технічну і економічну доцільність, а тому треба обирати значення конденсаторної установки найбільш близьке до розрахункової величини.

Отже, враховуючи вищенаведене, і поставлене завдання забезпечити  $\cos \varphi = 0,928$ , вибираємо з каталогу конденсаторну установку на напругу 0,4 кВ типу **VarSet VLFW0N03504AA** з фіксованою реактивною потужністю  $Q_{ку} = 32$  квар, що забезпечить  $\cos \varphi$  після компенсації на рівні **0,928**.

### **5.5. Порядок розрахунку максимальної реактивної потужності, яку доцільно передавати через двотрансформаторну підстанцію 10/0,4 кВ номінальною напругою до 1 кВ**

*Так як варіантів виконання трансформаторних підстанцій у лабораторній роботі є два, розглянемо розрахунок для двотрансформаторної підстанції.*

Визначаємо максимальну реактивну потужність, яку доцільно передавати через трансформатор 10/0,4 кВ у мережу напругою до 1 кВ для забезпечення бажаного коефіцієнта завантаження  $\beta_T$ :

$$Q_T = \sqrt{(n_T \cdot \beta_T \cdot S_{н.т.})^2 - P_p^2}, \text{ квар}$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,65 \cdot 315)^2 - 280^2} = 299 \text{ квар}$$

Потрібно відмітити, що якщо під коренем величина зі знаком «мінус», то значення реактивної потужності  $Q_T = 0$ .

Кількість конденсаторних установок для двотрансформаторних підстанцій повинна бути парною та однакової потужності. Конденсаторні установки вибираються із каталогу і приймається найближча стандартна величина потужності.

Розраховуємо потужність конденсаторної установки із конденсаторами на номінальну напругу до 1 кВ:

$$Q_{КУ} = Q_p - Q_T, \text{ квар}$$

$$Q_{КУ} = 130 - 299 = -169 \text{ квар}$$

Так як значення  $Q_{КУ} = -169$  квар – від'ємне, це означає, що трансформатори у паралельному режимі роботи пропускають всю необхідну реактивну потужність у мережу напругою до 1 кВ. Тобто за умови паралельного режиму роботи встановлювати конденсаторні установки на напругу до 1 кВ не потрібно.

Проте, додатково розглянемо режим роботи трансформаторної підстанції, коли працює 1 трансформатор на 2 секції шин низької напруги.

Для розрахунку використаємо розрахункові дані взяті із результатів виконання лабораторної роботи 4 (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

## Розрахункові вихідні параметри

№	$S_p$ , кВА	$Q_p$ , квар	$P_p$ , кВт	Ш.т., кВА	$\cos \varphi$ рекомендоване
1	309	130	280	315	0,928

У зв'язку з тим, що електропостачання реактивної енергії здійснюється безкоштовно до точки підключення, в якій її споживання складає менше 40% від споживання активної енергії ( $\operatorname{tg} \varphi = 0,4$ ). Тоді рекомендоване значення коефіцієнта потужності складає  $\cos \varphi = 0,928$ . Саме тому в програмі *Ecodial* за умовчанням рекомендоване значення встановлено  $\cos \varphi = 0,928$ .

Отже, згідно завдання необхідно підібрати конденсаторну установку, що забезпечить підвищення коефіцієнта потужності від 0,907 до 0,928.

У програмі *Ecodial* під'єднаємо по одному блоку конденсаторів до кожної секції шин низької напруги 0,4 кВ, як це зображено на рис. 5.3. Один із двох трансформаторів відключаємо автоматичним вимикачем вводу. Також на рис. 5.3 будуть зображені результати розрахунку реактивної потужності конденсаторної установки. Згідно розрахунку реактивна потужність, яку необхідно компенсувати складає  $Q_{\text{downstream}}=17,5$  квар. А реактивна потужність, що впливає на визначення типу використання конденсаторних установок:

$$Q = Q_{\text{upstream}} + Q_{\text{downstream}} = 15,8 + 17,5 = 33,3 \text{ квар.}$$

З каталогу програмою запропоновано вибрати конденсаторну установку автоматичного типу **VarSet** з реактивною потужністю  $Q_{\text{ку}} = 34$  квар, що дозволить підвищити  $\cos \varphi = 0,929$ .

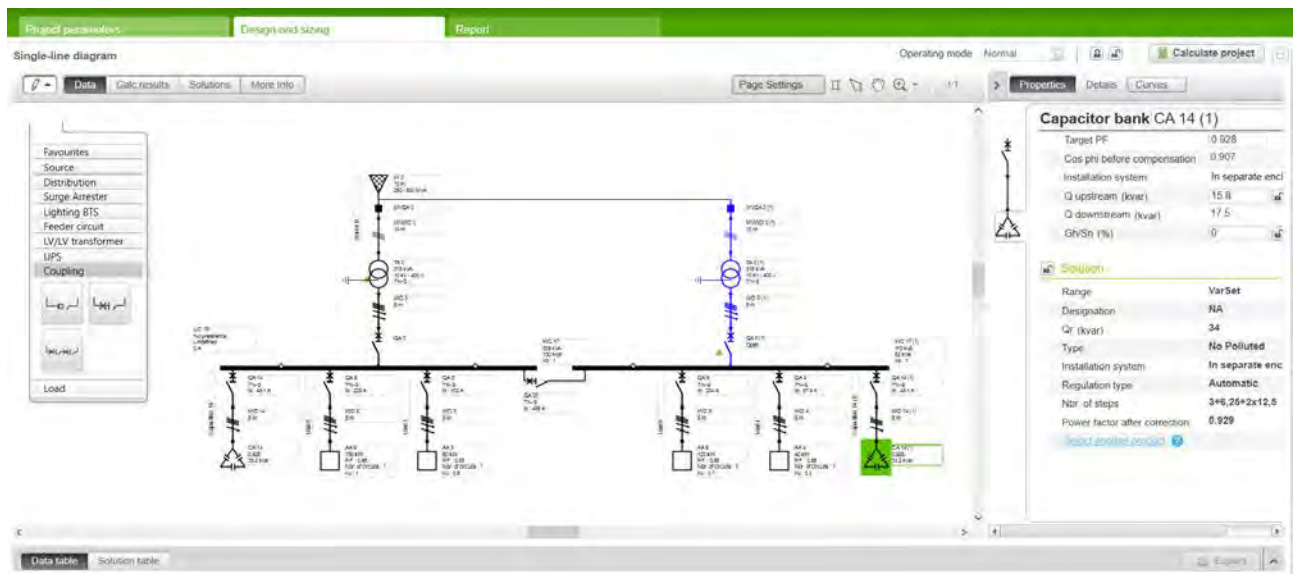


Рис. 5.3. Зображення результату розрахунку реактивної потужності конденсаторної установки для двотрансформаторної підстанції в програмі Ecodial.

Виконаємо перевірку проведеного розрахунку в програмі Ecodial.

Для цього визначаємо значення  $tg \varphi_{до}$  (до компенсації) для розрахункового  $\cos \varphi = 0,907$ :

$$tg \varphi_{до} = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi} = 0,464$$

Знаходимо коефіцієнт, що визначає тип використання конденсаторних установок:

$$k = \frac{Q_{upstream} + Q_{downstream}}{S_{н.т.}} \cdot 100\% = \frac{15,8 + 17,5}{315} \cdot 100\% = 10,57\%$$

Значення 10,57% є меншим за 15%, отже можливе застосування конденсаторної установки із фіксованою реактивною потужністю.

Розрахуємо реактивну потужність, яку необхідно компенсувати:

$$Q_{downstream} = P_p (tg \varphi_{до} - tg \varphi_{після}), \text{ квар}$$

$$Q_{downstream} = 280(0,464 - 0,4) = 17,92 \text{ квар},$$

Проаналізуємо отримані дані і зробимо висновок для двотрансформаторної підстанції.

Згідно розрахунків за першою частиною лабораторної роботи, рекомендована *максимальна* реактивна потужність, яку доцільно передавати через трансформатор 10/0,4 кВ у мережу напругою до 1 кВ складає  $Q_{ку} = -169$  квар. Значення від'ємне, це означає, що трансформатори у паралельному режимі роботи пропускають всю необхідну реактивну потужність у мережу напругою до 1 кВ. Тобто за умови паралельного режиму роботи встановлювати конденсаторні установки на напругу до 1 кВ не потрібно.

Проте, додатково були розглянуто режим роботи трансформаторної підстанції, коли працює 1 трансформатор на 2 секції шин низької напруги.

За результатами розрахунків у програмі Ecodial необхідне *мінімальне* сумарне значення конденсаторної установки для забезпечення коефіцієнта потужності на рівні не нижче 0,928, складає  $Q_{ку} = 34$  квар.

У зв'язку із тим, що коефіцієнт згідно якого визначають тип використання конденсаторних установок складає 10,57%, що  $\epsilon < 15\%$ , можна вибрати конденсаторну установку із фіксованим значенням реактивної потужності. Проте, наявні у каталозі конденсаторних установок фіксовані значення рівні 32 і 50 квар відповідно. Якщо не враховувати економічну складову вартості конденсаторних установок, то реактивна потужність 32 квар є недостатнім значенням, а 50 квар – завеликим для досягнення величини коефіцієнта потужності 0,928. Але конденсаторні установки мають значну вартість, що впливає на технічну і економічну доцільність, а тому треба обирати значення конденсаторної установки найбільш близьке до розрахункової величини.

Отже, враховуючи вищенаведене, і поставлене завдання забезпечити  $\cos \varphi = 0,928$ , вибираємо з каталогу **дві** конденсаторні установки на напругу 0,4 кВ типу **VarSet VLVFW0N03504AA** з фіксованою реактивною

потужністю  $Q_{кУ} = 32$  квар, що забезпечить  $\cos \varphi$  після компенсації на рівні **0,928**.

### **5.6. Приклад оформлення результатів**

Для завершення виконаної лабораторної роботи 5 оформлюємо результати розрахунку потужності конденсаторних установок для трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ.

Оформимо бланк з результатами лабораторної роботи 5 для прикладу одноструматорної підстанції на окремому аркуші.

## Лабораторна робота № 5

Дисципліна \_\_\_\_\_  
 Група \_\_\_\_\_  
 ПІБ \_\_\_\_\_  
 Дата \_\_\_\_\_

### ВАРІАНТ 1

Розраховувати потужність конденсаторних установок для трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ, вибирати їх кількість, тип та отримати практичний досвід роботи з різними методиками розрахунків.

Вихідні дані у табл. 1, а схема для розрахунку зображена на рис. 1.

*Таблиця 1*

### Розрахункові вихідні параметри

№ варіанту	$S_p$ , кВА	$Q_p$ , квар	$P_p$ , кВт	$S_{н.т.}$ , кВА	$\cos \phi$ рекомендоване
1	309	130	280	400 (315)	0,928

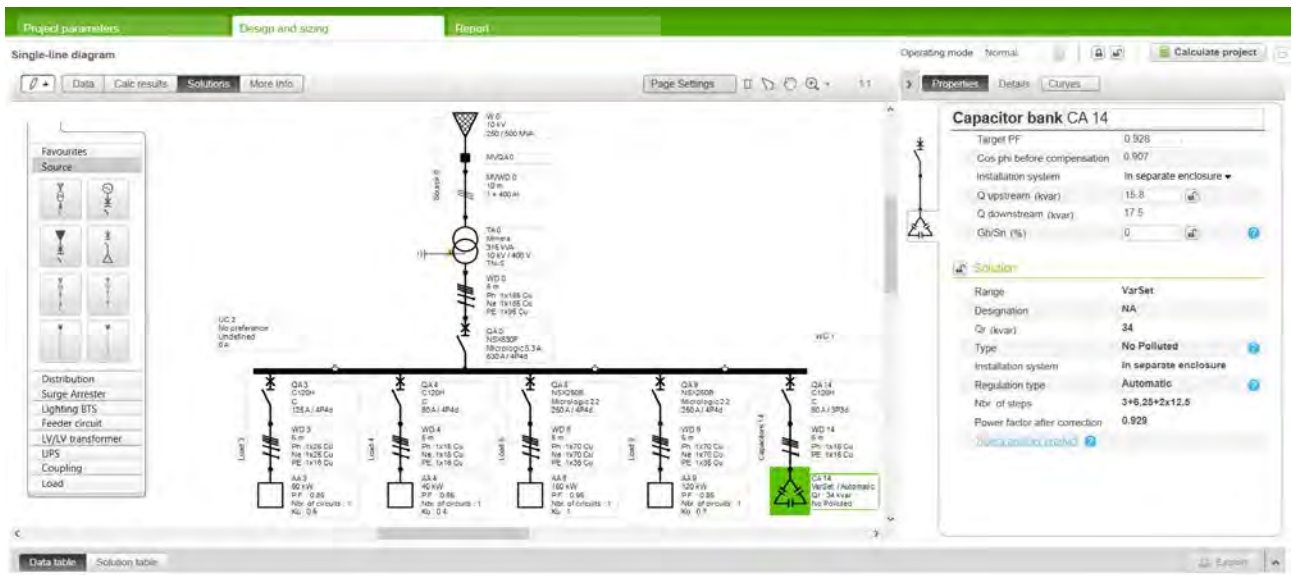


Рис. 1. Зображення результату розрахунку реактивної потужності конденсаторної установки в програмі Ecodial.

Згідно розрахунків за першою частиною лабораторної роботи, рекомендована *максимальна* реактивна потужність, яку доцільно передавати через трансформатор 10/0,4 кВ у мережу напругою до 1 кВ складає  $Q_{ку} = 86$  квар.

За результатами розрахунків у програмі Escodial необхідне *мінімальне* сумарне значення конденсаторної установки для забезпечення коефіцієнта потужності на рівні не нижче 0,928, складає  $Q_{ку} = 34$  квар.

У зв'язку із тим, що коефіцієнт згідно якого визначають тип використання конденсаторних установок складає 10,57%, що  $\epsilon < 15\%$ , можна вибрати конденсаторну установку із фіксованим значенням реактивної потужності. Проте, наявні у каталозі конденсаторних установок фіксовані значення рівні 32 і 50 квар відповідно. Якщо не враховувати економічну складову вартості конденсаторних установок, то реактивна потужність 32 квар є недостатнім значенням, а 50 квар – завеликим для досягнення величини коефіцієнта потужності 0,928. Але конденсаторні установки мають значну вартість, що впливає на технічну і економічну доцільність, а тому треба обирати значення конденсаторної установки найбільш близьке до розрахункової величини.

Отже, враховуючи вищенаведене, і поставлене завдання забезпечити  $\cos \varphi = 0,928$ , вибираємо з каталогу конденсаторну установку на напругу 0,4 кВ типу **VarSet VLFW0N03504AA** з фіксованою реактивною потужністю  $Q_{ку} = 32$  квар, що забезпечить  $\cos \varphi$  після компенсації на рівні **0,928**.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6

### Проектування дизельної електростанції, системи гарантованого електроживлення (використання програмного комплексу)

#### 6.1. Мета та завдання

**Мета:** отримати навички проектування дизельної електростанції та системи гарантованого електроживлення використовуючи програмне забезпечення та вимоги державних будівельних норм.

#### **Завдання:**

1. Скласти однолінійну електричну схему трансформаторної підстанції у програмі Ecodial.

2. Розрахувати потужність системи гарантованого електроживлення згідно вимог ДБН В.2.5-23:2010 та у програмі Ecodial. Вибрати марку системи гарантованого електроживлення у каталозі. Оформити результати процесу виконаного розрахунку.

3. Розрахувати потужність дизельної електростанції згідно вимог ДБН В.2.5-23:2010 та у програмі Ecodial. Вибрати марку дизельної електростанції у каталозі. Оформити результати процесу виконаного розрахунку.

4. Оформити результати виконаної роботи відповідно свого варіанту для перевірки.

#### 6.2. Короткі теоретичні відомості

Розглянемо тезово вимоги ДБН В.2.5-23:2010, а саме розділу 7 [3]. У разі наявності в будівлі електроприймачів критичної групи, для них повинна виконуватися система гарантованого електропостачання. Проектування, розроблення та технічне обслуговування такої системи необхідно виконувати комплексно, враховуючи всі елементи, які входять

до неї, з взаємопогодженими режимами роботи та максимально можливою уніфікацією.

За схемотехнічними рішеннями системи гарантованого електропостачання виконують трьома основними способами та поділяють згідно з ДСТУ ІЕС 62040-3 на: розподілену, централізовану та комбіновану (централізовано-змішану) системи.

Вибір способу виконання вирішується проектною організацією виходячи з потужності системи, категорії її надійності та вимог замовника. При цьому перевагу слід надавати розподіленій та автономній мережі електропостачання.

У програмі Escodial для системи гарантованого електроживлення передбачено блок UPS, а для дизельного електрогенератора – блок Emergency generator.

### 6.3. Порядок розрахунку потужності системи гарантованого електроживлення з використанням програмного комплексу та вибору марки системи гарантованого електроживлення у каталозі.

Випишуємо завдання згідно свого варіанту. Для проектування використаємо параметри навантаження з результатами і схемою із лабораторної роботи 4, а саме табл. 6.1 і схему зображену на рис. 6.1.

Таблиця 6.1

**Навантаження груп згідно варіанту**

Варіант №	Будівля 1				Будівля 2				Будівля 3				Будівля 1				L, м
	Р <sub>я</sub> , кВт	к.н.е.	К (Ku)	cos φ	Р <sub>я</sub> , кВт	к.н.е.	К (Ku)	cos φ	Р <sub>я</sub> , кВт	к.н.е.	К (Ku)	cos φ	Р <sub>я</sub> , кВт	к.н.е.	К (Ku)	cos φ	
1	60	III	0,5	0,85	40	III	0,4	0,85	150	III	-	0,95	120	III	0,7	0,85	5
	Житловий 8-ми квартирний будинок з електроплитами				Житловий будинок з газовими плитами				Школа без харчоблока до 200 осіб				Готель без ресторану до 200 осіб				
Технологія виготовлення силового трансформатора: Mineral oil																	

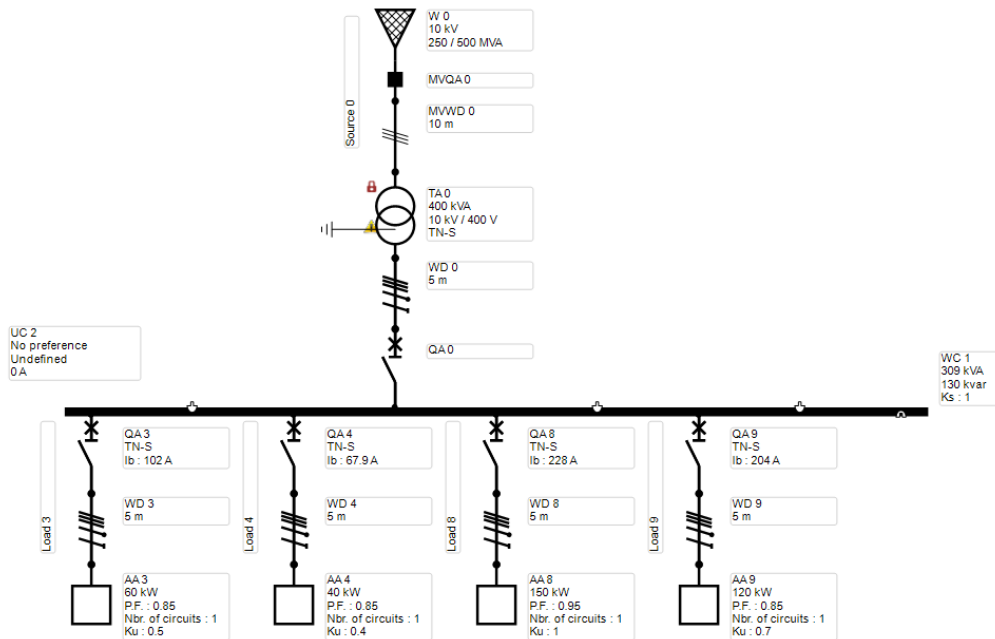


Рис. 6.1. Зображення результату розрахунку потужності силового трансформатора для групи будівель в програмі Ecodial.

Складаємо однолінійну електричну схему живлення споживачів із врахуванням навантаження лабораторної роботи 4, а також навантаження електроприймачів критичної групи (табл. 6.2), до яких відносяться локальні обчислювальні мережі.

Таблиця 6.2

**Навантаження електроприймачів критичної групи**

№	$P_{УРС}$ , кВт	$N_{PC}$	$P_{УС}$ , кВт	$N_C$
1	0,5	80	1,0	10

Використовуючи розділи меню Load, Feeder circuit та UPS, під'єднуємо навантаження електроприймачів критичної групи (табл. 6.2) до електричної схеми. Для розрахунку натискаємо Calculate project. Зображення схеми для розрахунку показано на рис. 6.2. На схемі до системи гарантованого живлення (UPS) під'єднано 5 ліній. Із них одна лінія живлення 10 серверів, а інші чотири лінії живлять робочі місця. Для

прикладу, і унеможливлення повторювань у варіантах, до кожної лінії під'єднано по 20 робочих місць, що загалом дорівнюватиме 80. Треба враховувати, що максимальна кількість підключень електроприймачів в одній лінії не може перевищувати 20.

Згідно автоматичного розрахунку в програмі Ecodial, визначена повна потужність електроприймачів критичної групи  $S_{\text{ЕКТ}}=29,5$  кВА,  $Q_{\text{ЕКТ}}=0$  квар. Рекомендована марка пристрою системи гарантованого електроживлення **Easy UPS 3S**, потужністю  $S_{\text{UPS}}=40$  кВА.

Виконаємо розрахунок електричних навантажень системи гарантованого електроживлення згідно рекомендованої методики в ДБН В.2.5-23:2010.

Визначимо розрахункове навантаження системи гарантованого електроживлення (UPS) за формулою:

$$P_{\text{UPS.P}} = P_{\text{УРС}} \cdot k_{\text{ПР}} \cdot N_{\text{РС}} + P_{\text{УС}} \cdot k_{\text{ПР}} \cdot N_{\text{С}},$$

де  $P_{\text{УРС}}$  – установлена потужність робочого місця локальної обчислювальної мережі, кВт;

$k_{\text{ПР}}$  – розрахунковий коефіцієнт попиту, прийнятий за таблицею Г.1 ДБН В.2.5-23:2010;

$N_{\text{РС}}$  – кількість робочих місць локальної обчислювальної мережі;

$P_{\text{УС}}$  – установлена потужність сервера, кВт;

$N_{\text{С}}$  – кількість серверів.

Установлена потужність робочого місця локальної обчислювальної мережі (без врахування периферійних пристроїв) приймається 250..300 Вт, сервера – 750...1000 Вт, або згідно з технічною документацією електронних пристроїв локальної обчислювальної мережі.

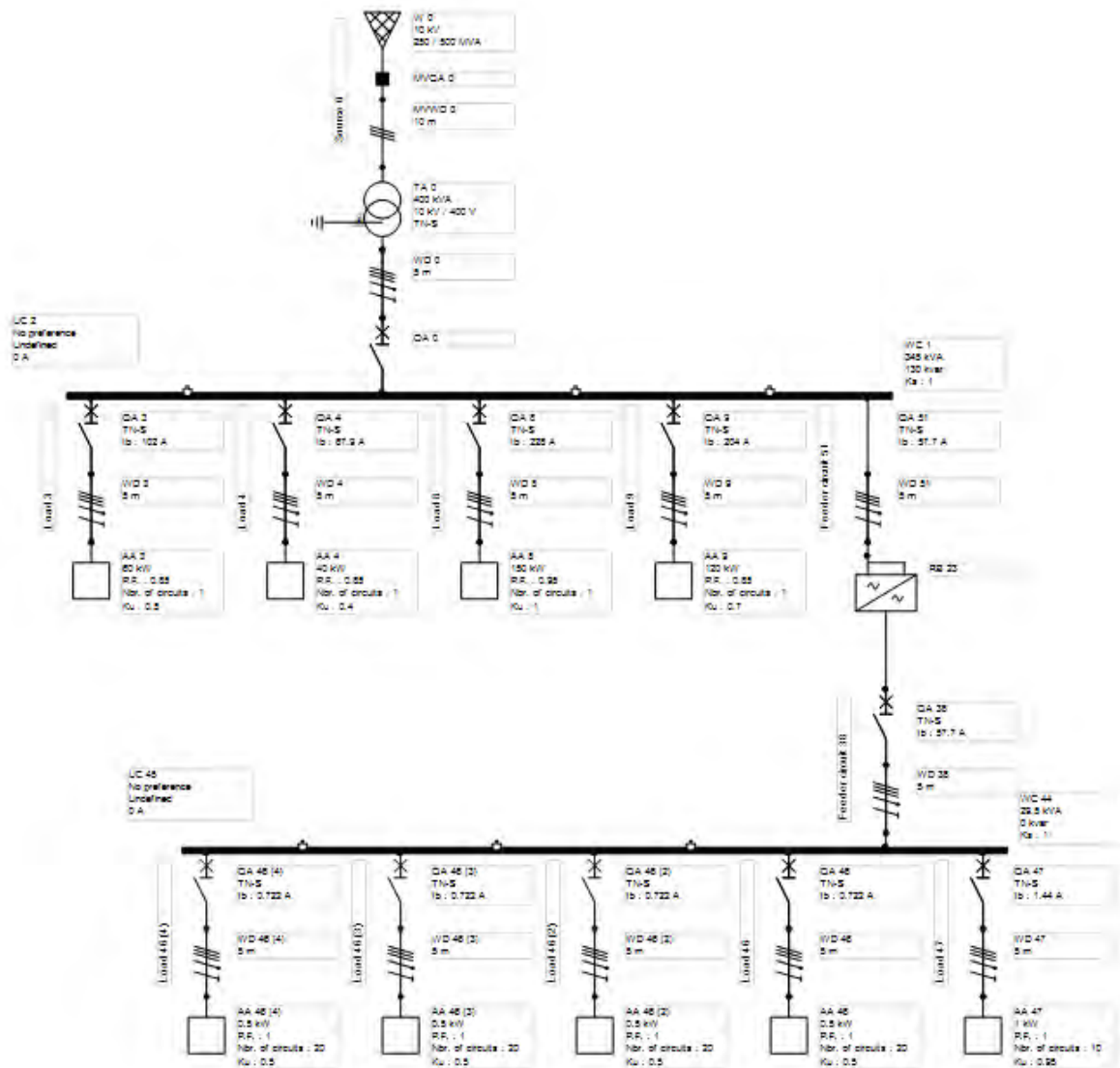


Рис. 6.2. Однолінійна електрична схема із живленням електроприймачів критичної групи від UPS

Запишемо дані для розрахунку у таблицю 6.3.

Таблиця 6.3

**Параметри для розрахунку навантаження електроприймачів критичної групи**

№ варіанта	$P_{UPS}$ , кВт	$N_{PC}$	$k_{ПР}$ роб. місце	$P_{UC}$ , кВт	$N_C$	$k_{ПР}$ сервер
1	0,5	80	0,5	1,0	10	0,95

Звідси потужність розрахункового навантаження системи гарантованого електроживлення (UPS):

$$\begin{aligned} P_{UPS.P} &= P_{УРС} \cdot k_{ПР} \cdot N_{РС} + P_{УС} \cdot k_{ПР} \cdot N_{С=} \\ &= 0,5 \cdot 0,5 \cdot 80 + 1 \cdot 0,95 \cdot 10 = 29,5 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Так як у каталозі з технічними даними UPS, найближчі наведені повні потужності  $S_{UPS.ВИХ} = 30$  і  $40$  кВА, то для вибору номінальної потужності, необхідно визначити із повної потужності – активну:

$$P_{UPS.ВИХ} = S_{UPS.ВИХ} \cdot \cos\varphi_{ВИХ} = 30 \cdot 1 = 30 \text{ кВт}$$

$$P_{UPS.ВИХ} = S_{UPS.ВИХ} \cdot \cos\varphi_{ВИХ} = 40 \cdot 1 = 40 \text{ кВт}$$

Випишемо втрати активної потужності для двох UPS:

згідно каталогу для  $P_{UPS.ВИХ} = 30$  кВт, втрати  $\Delta P = 1,41$  кВт;

згідно каталогу для  $P_{UPS.ВИХ} = 40$  кВт, втрати  $\Delta P = 1,88$  кВт.

Отже, для вибору вихідної потужності UPS використовуємо  $P_{UPS.ВИХ} = 40$  кВт з урахуванням вимоги:

$$P_{UPS.ВИХ} = 40 \text{ кВт} \geq P_{UPS.P} = 29,5 \text{ кВт}$$

У разі визначення повної вихідної потужності UPS (кВА), треба використовувати формулу:

$$S_{UPS.ВИХ} = \frac{P_{UPS.ВИХ}}{\cos\varphi_{ВИХ}}$$

де  $\cos\varphi_{ВИХ}$  – наведене виробником значення коефіцієнта вихідної потужності для даного UPS.

З каталогу [12] випишемо марку і необхідні параметри системи гарантованого електроживлення для наступного розрахунку: марка: **Easy UPS 3S**,  $S_{UPS.ВИХ} = 40$  кВА  $\cos\varphi_{ВИХ} = 1,0$ ,  $\cos\varphi_{ВХ} = 0,99$ ,  $\text{THD} \leq 5\%$ ,  $q = 125\%$ ,  $P_{ЗАР.АБ} = 6$  кВт.

Треба враховувати, що для UPS вхідні та вихідні коефіцієнти потужності можуть суттєво відрізнятися, тому для мережі, яка живить UPS, його активна вхідна потужність  $P_{UPS.ВХ}$ , кВт, складає:

$$P_{UPS.BX} = \frac{S_{UPS.BIX} \cdot \cos \varphi_{BIX}}{\eta \sqrt{1+THD^2}} = \frac{40 \cdot 1}{0,95 \cdot \sqrt{1+5^2}} = 8,3 \text{ кВт}$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії UPS,  $\eta = 0,95$ ;

THD – коефіцієнт гармонік вхідного струму, який визначається за документацією заводу-виробника UPS, або згідно з таблицею Г.2 ДБН В.2.5-23:2010.

#### **6.4. Порядок розрахунку потужності дизельної електростанції з використанням програмного комплексу та вибору марки дизельної електростанції у каталозі**

Існують випадки, коли потрібно підключати UPS до дизельної електростанції (ДЕС). У лабораторній роботі не використовується, проте розглянемо як визначається потужність ДЕС для такого випадку.

Для визначення необхідної потужності дизельної електростанції (ДЕС), яка працює з UPS, необхідно враховувати вплив гармонічних струмів на теплові режими роботи генератора ДЕС. При цьому загальна формула має вид (потрібно вибирати найбільше значення з верхнього рівняння, що визначає вклад вищих гармонічних струмів, чи нижнього рівняння:

$$P_{ДЕС.UPS} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{100}{q} \left( \frac{P_{UPS.BIX}}{\eta} + P_{ЗАР.АБ} \right) \\ k_{ДА} \left( \frac{P_{UPS.BIX}}{\eta} + P_{ЗАР.АБ} \right) \end{array} \right\}$$

де  $q$  – допустимий миттєвий накид навантаження, %. Визначається за каталогом ДЕС, або згідно ГОСТ 10511;

$P_{UPS.BIX}$  – вихідна потужність UPS, кВт;

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії UPS;

$P_{ЗАР.АБ}$  – потужність, яка витрачається для заряду акумуляторної батареї UPS, кВт, визначається за каталогом або як  $(0,15..0,25) P_{UPS.BIX} / \eta$ ;

$k_{ДА}$  – коефіцієнт кратності потужності ДЕС до потужності UPS, обумовлений впливом струмів вищих гармонік. Значення коефіцієнта для найбільш поширених умов застосування значень наведені в табл. Г.3 ДБН В.2.5-23:2010.

Звідси

$$P_{ДЕС.УПС} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{100}{125} \left( \frac{40}{0,95} + 6 \right) = 38,5 \text{ кВт} \\ 1,09 \left( \frac{40}{0,95} + 6 \right) = 52,4 \text{ кВт} \end{array} \right\}$$

При розрахунку потужності ДЕС потрібно враховувати втрати потужності в мережі та власні потреби ДЕС. Розрахункову максимальну потужність ДЕС в такому випадку можна визначити за формулою:

$$P_{ДЕС.УПС.Р} = \frac{P_{ДЕС.УПС.маx} \cdot k_{втр}}{k_{вп}} = \frac{52,4 \cdot 1,05}{0,97} = 56,7 \text{ кВт}$$

де  $k_{втр}$  – коефіцієнт, що враховує втрати потужності в електромережі до 250 В,  $k_{втр} = 1,1$ , до 500 В -  $k_{втр} = 1,05$ ;

$k_{вп}$  – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії на власні потреби ДЕС,  $k_{вп} = 0,95..0,97$ .

Для отримання повної розрахункової потужності навантаження в кВА необхідно потужність  $P_{ДЕС.УПС.Р}$  розділити на  $\cos\varphi$ . З каталогу для ДЕС потужністю 85 кВА,  $\cos\varphi = 0,8$ :

$$S_{ДЕС.УПС.Р} = \frac{P_{ДЕС.УПС.Р}}{\cos\varphi} = \frac{56,7}{0,8} = 70,9 \text{ кВА}$$

Вибираємо за умовою потужність дизельної електростанції:

$$S_{ДЕС} = 85 \text{ кВА} \geq S_{ДЕС.УПС.Р} = 70,9 \text{ кВА}.$$

З каталогу [13, 14] виписуємо марку ДЕС, що може бути джерелом електроживлення вибраної системи гарантованого електроживлення для електроприймачів критичної групи: **ГЕКО, тип 85003 ED-S/DEDA,**

потужністю  $S_{\text{ДЕС}} = 85$  кВА, напругою  $U_{\text{ДЕС}} = 400$  В. Детальні технічні характеристики описані у каталозі.

Для електроживлення електроприймачів критичної групи, без використання системи гарантованого електропостачання UPS, розрахуємо потужність дизельної електростанції та виберемо марку із каталогу.

Для цього складаємо однолінійну електричну схему в програмі Ecodial з використанням блока Emergency generator. Зображення зібраної схеми показано на рис. 6.3.

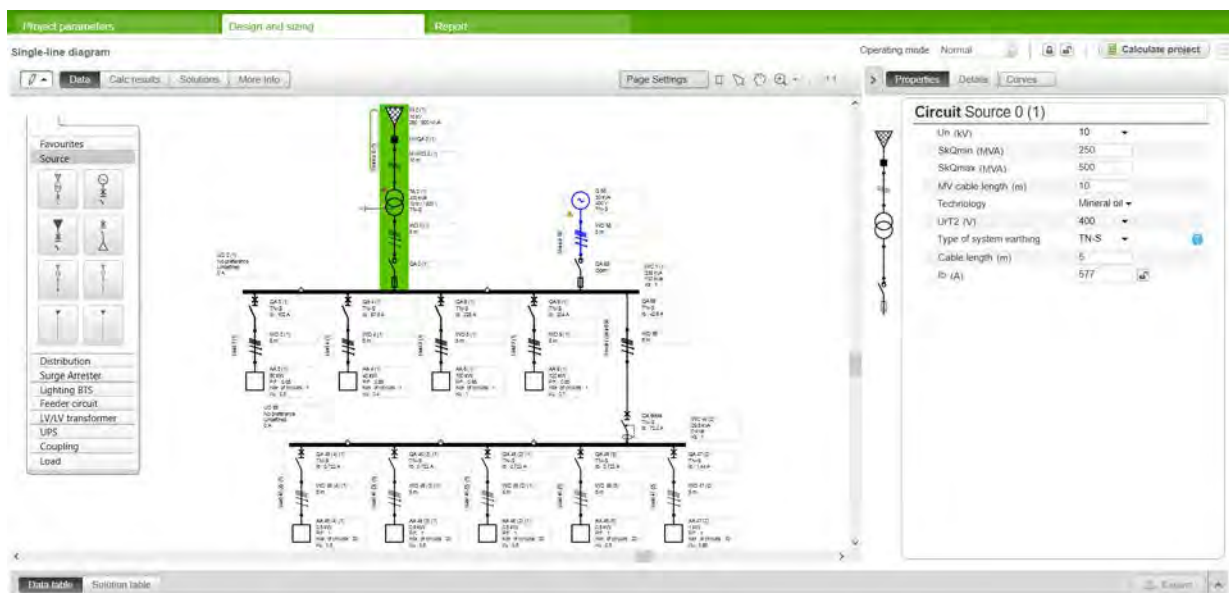


Рис. 6.3. Однолінійна електрична схема із зображенням силового трансформатора та вимкненої дизельної електростанції

Режим роботи трансформатора підстанції і дизельної електростанції є почерговий. Тобто у такому виконанні (рис. 6.3) коли працює трансформатор, то ДЕС вимкнена, а коли трансформатор на підстанції вимкнено, тоді працює ДЕС. Це досягається шляхом створення додаткового режиму роботи в меню «Operating mode».

Розглянемо створення додаткового режиму роботи ДЕС. Для цього треба увійти в меню «Operating mode» шляхом натискання на «+», біля пункту «Normal». Після того як відкриється посилання «Management of operating modes» перейти на нього. У вікні «Management of operating modes» треба створити новий режим (напр. «DES»), як це зображено на рис. 6.4. Після того, як режим роботи ДЕС створено, вікно управління режимами роботи потрібно закрити. Далі перейти в новостворений режим «DES» шляхом вибору в меню вікна «Management of operating modes» і ввімкнути вимикач вводу дизельної електростанції на схемі.

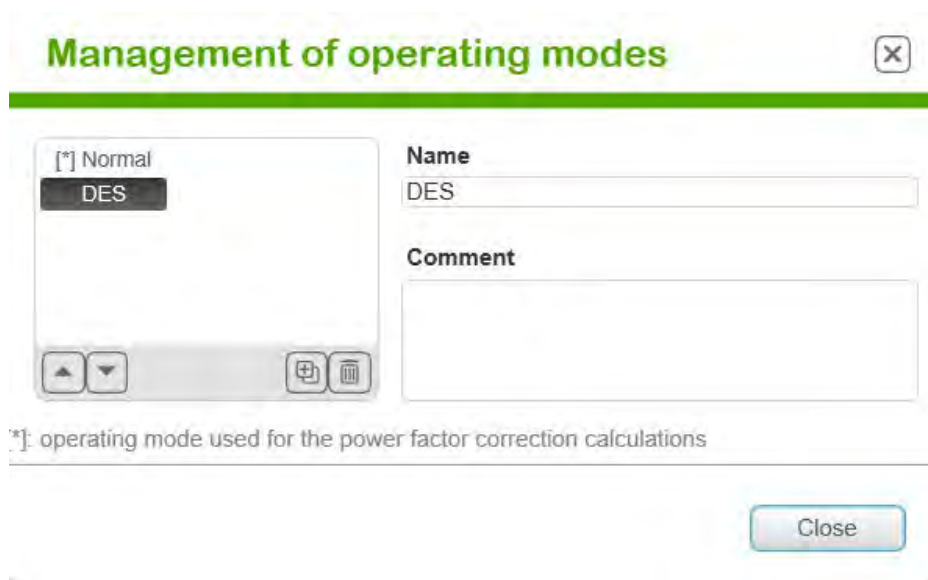


Рис. 6.4. Вікно «Управління режимами роботи» в програмі Ecodial

Після ввімкнення на схемі вимикача вводу дизельної електростанції схема набуде наступного виду, як це зображено на рис. 6.5. Для того, щоб залишити в режимі «DES» ввімкненим лише електроприймачі критичної групи, потрібно всі інші електроприймачі, що не відносяться до даної групи вимкнути. Це виконується шляхом натискання на вимикач, далі в меню «On/Off», або іншим способом: у меню «Circuit breaker», далі «Device status» треба вибрати «Open» із меню «Closed/Open». На схемі синім кольором будуть відображатися не вимкнені лінії у новоствореному режимі.

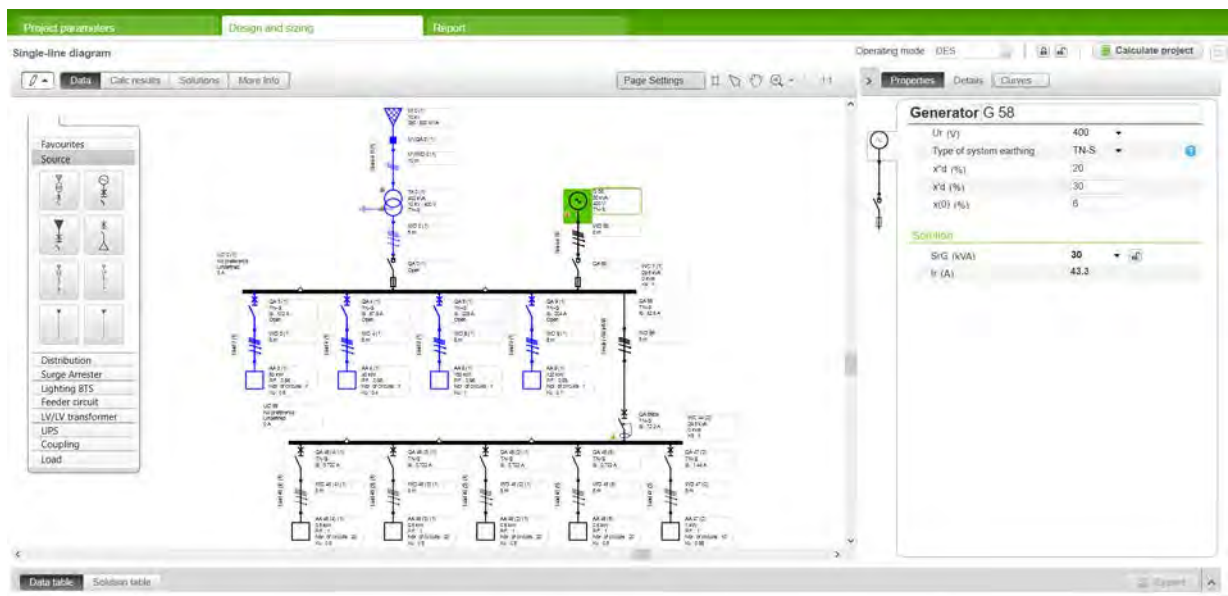


Рис. 6.5. Однолінійна електрична схема із зображенням ввімкненої дизельної електростанції та критичної групи електроприймачів

Для повернення до режиму «Normal», в якому всі електроприймачі отримують електроживлення від трансформатора підстанції, потрібно у вікні «Management of operating modes» вибрати відповідний режим.

Із проведених розрахунків визначена потужність критичної групи електроприймачів  $S_{ЕКГ}=29,5$  кВА,  $P_{ЕКГ}=29,5$  кВт,  $Q_{ЕКГ}=0$  квар. Рекомендована дизельна електростанція потужністю  $S_{ДЕС} = 30$  кВА, але з попередженням, що в даному випадку генератор завантажений більше ніж на 70 % від номінальної потужності. Змінюємо генератор ДЕС на наступну позицію  $S_{ДЕС} = 45$  кВА і знову проводимо розрахунок, як це зображено на рис. 6.6. Після цього попередження про надмірне завантаження генератора ДЕС відсутнє. Таким чином, вибір потужності ДЕС у програмі закінчуємо.

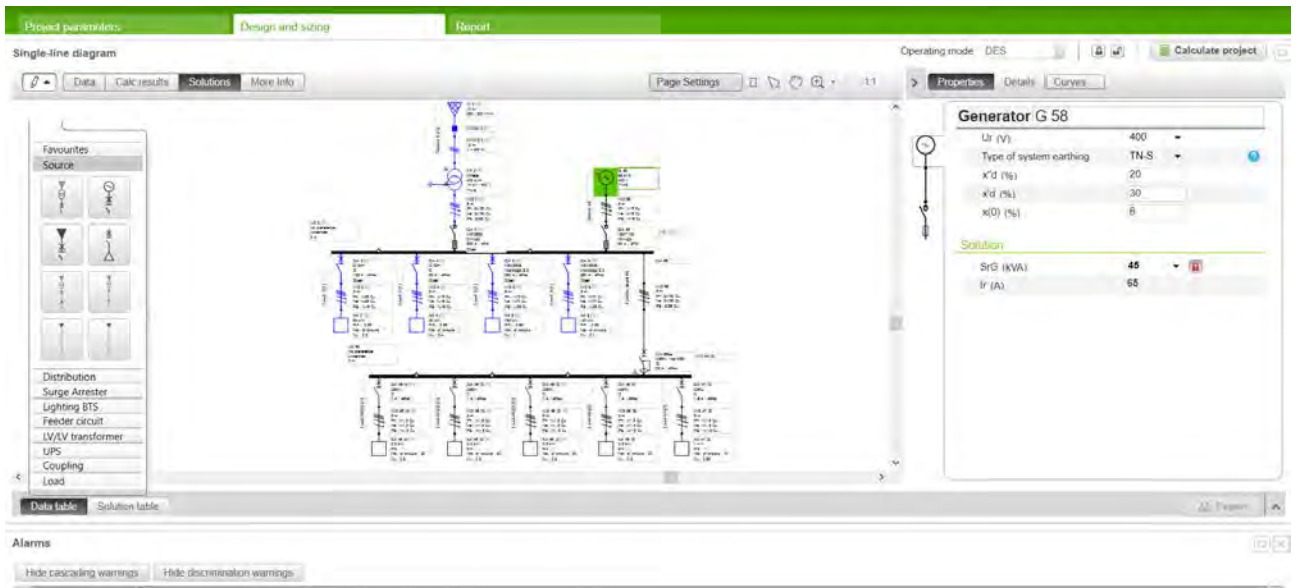


Рис. 6.6. Однолінійна електрична схема із зображенням результату вибору потужності дизельної електростанції

Виконаємо перевірку результатів отриманих в програмі, шляхом розрахунку за формулами, а також виберемо ДЕС із каталогу.

При розрахунку потужності ДЕС потрібно враховувати втрати потужності в мережі та власні потреби ДЕС. Розрахункову максимальну потужність ДЕС в такому випадку можна визначити за формулою:

$$P_{ДЕС.P} = \frac{P_{ДЕС.max} \cdot k_{втр}}{k_{вп}} = \frac{29,5 \cdot 1,05}{0,97} = 31,94 \text{ кВт}$$

де  $k_{втр}$  – коефіцієнт, що враховує втрати потужності в електромережі до 250 В,  $k_{втр} = 1,1$ , до 500 В -  $k_{втр} = 1,05$ ;

$k_{вп}$  – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії на власні потреби ДЕС,  $k_{вп} = 0,95..0,97$ .

Для отримання повної розрахункової потужності навантаження в кВА необхідно потужність  $P_{ДЕС.P}$  розділити на  $\cos\varphi$  (звичайно рівний 0,8):

$$S_{ДЕС.P} = \frac{P_{ДЕС.P}}{\cos\varphi} = \frac{31,94}{0,8} = 39,93 \text{ кВА}$$

Вибираємо за умовою потужність дизельної електростанції:

$$S_{ДЕС} = 40 \text{ кВА} \geq S_{ДЕС.P} = 39,93 \text{ кВА.}$$

З каталогу виписуємо марку ДЕС, що може бути джерелом електроживлення вибраної системи гарантованого електроживлення для електроприймачів критичної групи: **ГЕКО, тип 40012 ED-S/DEDA**, потужністю  $S_{ДЕС} = 40$  кВА, напругою  $U_{ДЕС} = 400$  В. Детальні технічні характеристики описані у каталозі.

### **6.5. Приклад оформлення результатів**

Для завершення виконаної лабораторної роботи 6 оформлюємо результати розрахунку на окремому бланку.

## Лабораторна робота № 6

Дисципліна \_\_\_\_\_  
 Група \_\_\_\_\_  
 ПІБ \_\_\_\_\_  
 Дата \_\_\_\_\_

### ВАРІАНТ 1

Спроекувати дизельну електростанцію та систему гарантованого електроживлення використовуючи програмне забезпечення та вимоги державних будівельних норм. Вихідні дані наведені у табл. 1.

*Таблиця 1*

### Параметри для розрахунку навантаження електроприймачів критичної групи

№ варіанта	$P_{УРС}$ , кВт	$N_{PC}$	$P_{УС}$ , кВт	$N_C$	$k_{ДА}$
1	0,5	80	1,0	10	1,09

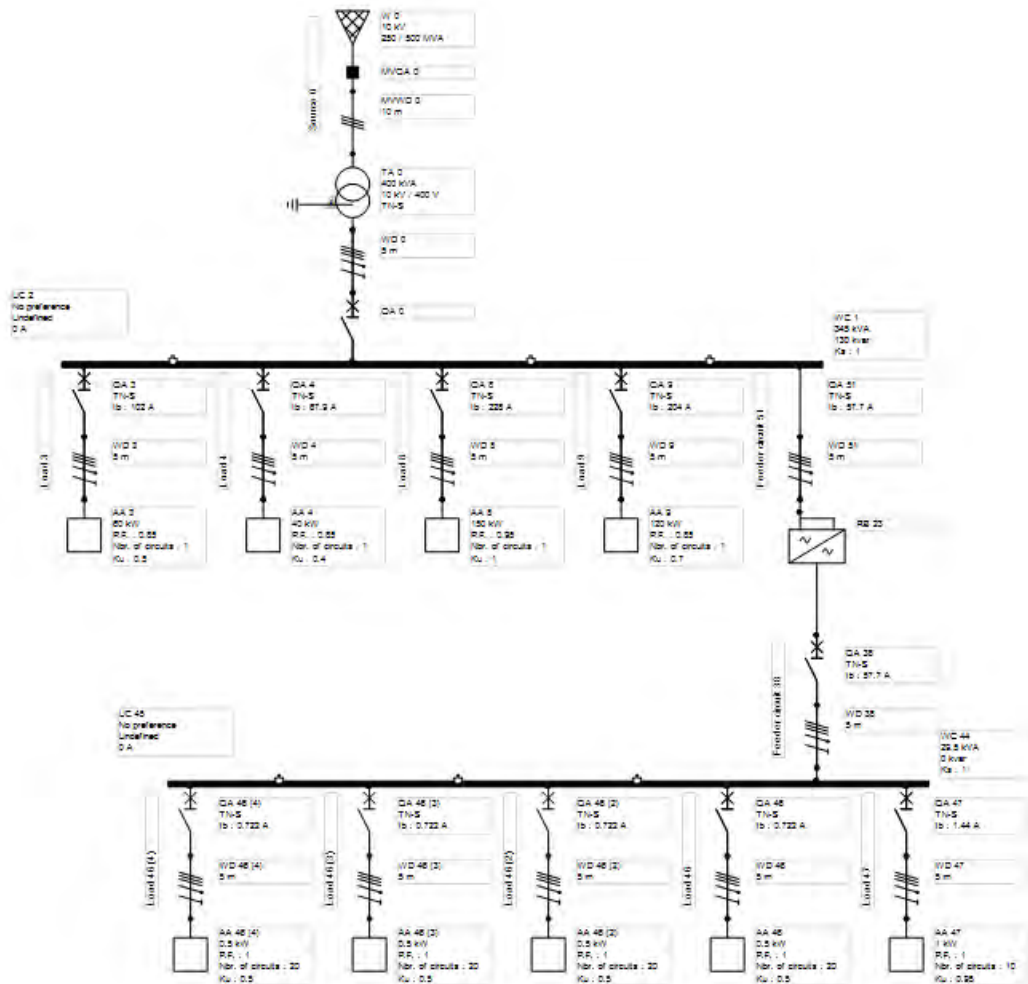


Рис. 1. Однолінійна електрична схема із живленням електроприймачів критичної групи від UPS

## Результати розрахунку.

Потужність розрахункового навантаження системи гарантованого електроживлення (UPS):  $P_{UPS.P} = 29,5$  кВт.

Вихідна потужність UPS:  $P_{UPS.ВИХ} = 40$  кВт.

Активна вхідна потужність  $P_{UPS.ВХ} = 8,3$  кВт.

Розрахункова максимальна потужність ДЕС для UPS:  $P_{ДЕС.UPS.max} = 52,4$  кВт.

Розрахункова максимальна потужність ДЕС:  $P_{ДЕС.UPS.P} = 56,7$  кВт.

Повна розрахункова потужність навантаження:  $S_{ДЕС.UPS.P} = 70,9$  кВА

Потужність дизельної електростанції:  $S_{ДЕС} = 85$  кВА.

З каталогу вибираємо марку і необхідні параметри системи гарантованого електроживлення: **Easy UPS 3S**,  $S_{UPS.ВИХ} = 40$  кВА  $\cos\varphi_{ВИХ} = 1,0$ ,  $\cos\varphi_{ВХ} = 0,99$ ,  $THD \leq 5\%$ ,  $q = 125\%$ ,  $P_{ЗАР.АБ} = 6$  кВт.

З каталогу виписуємо марку ДЕС, що може бути джерелом електроживлення вибраної системи гарантованого електроживлення для електроприймачів критичної групи: **ГЕКО, тип 85003 ED-S/DEDA**, потужністю  $S_{ДЕС} = 85$  кВА, напругою  $U_{ДЕС} = 400$  В. Детальні технічні характеристики описані у каталозі.

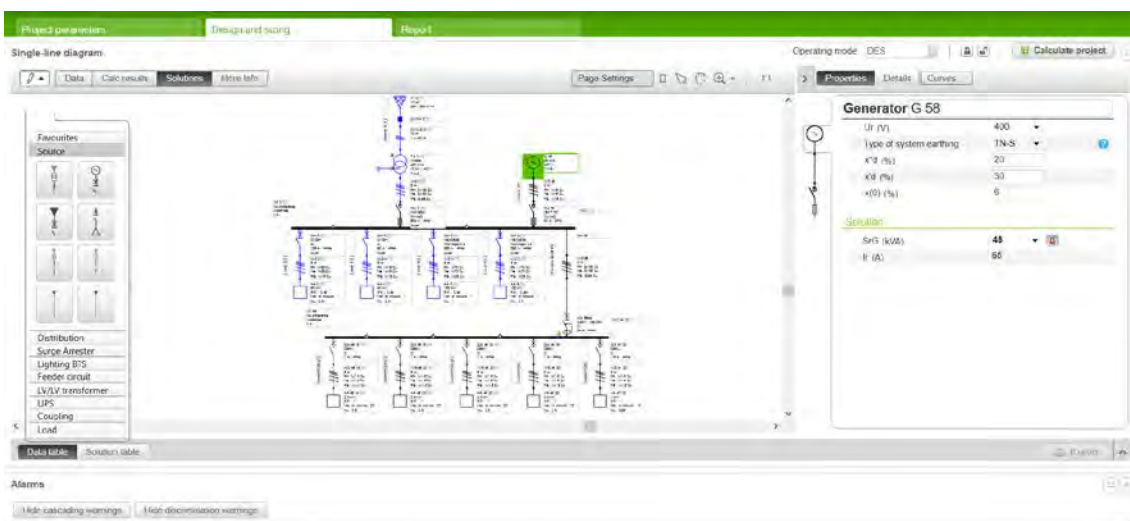


Рис. 2. Однолінійна електрична схема із зображенням результату вибору потужності дизельної електростанції

Із проведених розрахунків визначена потужність критичної групи електроприймачів  $S_{ЕКГ}=29,5$  кВА,  $P_{ЕКГ}=29,5$  кВт,  $Q_{ЕКГ}=0$  квар. Рекомендована дизельна електростанція потужністю  $S_{ДЕС} = 30$  кВА, але з попередженням, що в даному випадку генератор завантажений більше ніж на 70 % від номінальної потужності. Змінюємо генератор ДЕС на наступну позицію  $S_{ДЕС} = 45$  кВА і знову проводимо розрахунок, як це зображено на рис. 2.

Розрахункова максимальна потужність ДЕС:  $P_{ДЕС.Р} = 31,94$  кВт

Повна розрахункова потужність навантаження в кВА:  $S_{ДЕС.Р} = 39,93$  кВА

Потужність дизельної електростанції:  $S_{ДЕС} = 40$  кВА.

З каталогу виписуємо марку ДЕС, що може бути джерелом електроживлення вибраної системи гарантованого електроживлення для електроприймачів критичної групи: **ГЕКО, тип 40012 ED-S/DEDA**, потужністю  $S_{ДЕС} = 40$  кВА, напругою  $U_{ДЕС} = 400$  В. Детальні технічні характеристики описані у каталозі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зображення умовні графічні електрообладнання та проводок на планах: ДСТУ Б А.2.4-19:2008. – [Чинний від 2008-06-27]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 13 с. – (Національний стандарт України).
2. Програмний комплекс EcoStruxure Power Design - Ecodial. Schneider Electric. Режим доступу до сервера: [https://www.se.com/ww/en/download/document/EcoStruxure\\_Power\\_Design/](https://www.se.com/ww/en/download/document/EcoStruxure_Power_Design/)
3. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення: ДБН В.2.5-23:2010. – [Чинний від 2010-10-1]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 167 с. – (Державні будівельні норми України).
4. Электроэнергетические кабели медные с изоляцией и в оболочке из полвинита УпКУ 0,6/1 кV. Каталог електрокабелів. ООО «Компания «МИКО». Режим доступу до сервера: [www.promiko.com.ua](http://www.promiko.com.ua).
5. Модульные низковольтные устройства. Каталог ABL SURSUM. Bayerische Elektrozubehor GmbH & Co. Режим доступу до сервера: [www.abl-sursum.com](http://www.abl-sursum.com).
6. Кабели силовые ВВГ, ВВГнг. Каталог ЗАО «Завод «Южкабель». Режим доступу до сервера: <https://yuzhcable.com.ua/>.
7. Предохранители ЗР-2 (ПР-2). Каталог СП «Украинско-российский электротехнический торговый дом». Режим доступу до сервера: <https://sp-ukrainsko-rossijskij-elektrotehnicheskij.uaprom.net/>.
8. Програмний комплекс EcoStruxure Power Build – Rapsody. Schneider Electric. Режим доступу до сервера: <https://www.se.com/ru/ru/product-range-download/2309-ecostruxure-power-build---rapsody/#/software-firmware-tab>.

9. Трансформатори силові типу ТМ. Каталог ТОВ «УКРЕЛЕКТРОАПАРАТ». Режим доступу до сервера: [www.uea.com.ua](http://www.uea.com.ua)
10. Сухие трансформаторы с литой изоляцией. Каталог Компании СЭА. Режим доступу до сервера: [www.sea.com.ua](http://www.sea.com.ua)
11. VarSet. Low voltage capacitor banks. Catalog Schneider Electric. Режим доступу до сервера: [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com).
12. Easy UPS 3S с внутренними батареями 10 – 30 кВА. Каталог Schneider Electric. Режим доступу до сервера: [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com).
13. Асинхронные генераторные системы GEKO. Каталог Metallwarenfabrik Gemmingen GmbH. Режим доступу до сервера: [www.metallwarenfabrik.com](http://www.metallwarenfabrik.com).
14. Электрогенераторные системы GEKO 20 – 500 кВА. Каталог Metallwarenfabrik Gemmingen GmbH. Режим доступу до сервера: [www.metallwarenfabrik.com](http://www.metallwarenfabrik.com).